



(TOMO I)

	Prólogo	5
CAPÍTULO I	GENERAL	19
CAPÍTULO II	TIPOS Y FUNCIONES DE LAS OBRAS DE ATRAQUE Y AMARRE	29
CAPÍTULO III	DIMENSIONAMIENTO EN PLANTA Y ALZADO, BASES DE DISEÑO Y CRITERIOS GENERALES DE PROYECTO	61

(TOMO II)

CAPÍTULO IV	DEFINICIÓN DE LOS ESTADOS Y SITUACIONES DE PROYECTO	
--------------------	--	--

SERIE 2

Obras portuarias interiores

RECOMENDACIONES PARA OBRAS MARÍTIMAS



ROM 2.0-11

[Tomo I]

Recomendaciones para el proyecto y ejecución
en Obras de Atraque y Amarre



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

Puertos del Estado



 **ROM 2.0-11**
[Tomo I]

**Recomendaciones para el proyecto y ejecución
en Obras de Atraque y Amarre**

Junio 2012

ÍNDICE

(TOMO I)

	Prólogo	5
CAPÍTULO I	GENERAL	19
CAPÍTULO II	TIPOS Y FUNCIONES DE LAS OBRAS DE ATRAQUE Y AMARRE	29
CAPÍTULO III	DIMENSIONAMIENTO EN PLANTA Y ALZADO, BASES DE DISEÑO Y CRITERIOS GENERALES DE PROYECTO	61

PVP: 15 €



**GOBIERNO
DE ESPAÑA**

**MINISTERIO
DE FOMENTO**

Puertos del Estado





ROM 2.0-11

[Tomo I]

**Recomendaciones para el proyecto y ejecución
en Obras de Atraque y Amarre**

1ª Edición
Junio 2012

EDICIÓN:

PUERTOS DEL ESTADO

REDACCIÓN PONENCIA:

José Llorca

PUERTOS DEL ESTADO

José Manuel González Herrero

ACCIONA INGENIERÍA

Sergi Ametller

SENER

**COORDINACIÓN Y DISEÑO
DE LA PUBLICACIÓN:**

Emilio Piñeiro Díaz

PUERTOS DEL ESTADO

IMPRESIÓN:

V.A. Impresores S.A.

I.S.B.N.:

978-84-88975-40-9 (Tomo I)

978-84-88975-78-2 (Obra completa)

DEPÓSITO LEGAL:

M-19073-2012

© Puertos del Estado

PRECIO:

15 € (IVA incluido)

Esta edición de la **ROM 2.0-11 (Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre)** consta de 1.000 ejemplares, editados en dos volúmenes.

– Tomo I: 148 páginas

– Tomo II: 468 páginas

Prólogo



Se han cumplido 25 años desde que arrancara el programa ROM de Recomendaciones de Obras Marítimas y muchos son los cambios que se han venido registrando en el campo de la ingeniería portuaria española. Cambios que han acompañado al proceso de modernización del que ha disfrutado el sistema portuario de interés general en los ámbitos de la organización, gestión y financiación.

Durante este largo periodo, los retos metodológicos a la hora de afrontar el desarrollo portuario han sido múltiples, y los pasos dados para resolverlos merecen ser aquí reconocidos.

En primer lugar, se ha avanzado en una perspectiva probabilística con la cual evaluar el riesgo asociado al diseño, ejecución y posterior utilización de la obra marítimo-portuaria. La concepción empirista del diseño de la obra marítima, siendo útil, no impide su enmarque en un procedimiento reglado de caracterización del riesgo asociado a los modos predominantes de fallo de la obra marítimo-portuaria. En la mayor parte de los casos, contamos con información suficiente para caracterizar la incertidumbre que acompaña a las principales variables que determinan las acciones sobre la infraestructura, sean las que se derivan del medio físico circundante (oleaje, corrientes, vientos...), sean las que se relacionan con las propias instalaciones, equipos y material móvil a los que atiende o da soporte. También están a nuestra disposición, técnicas y herramientas, tan eficaces como eficientes, destinadas a resolver cada una de las etapas del proceso de diseño, calibrado y empleo de todo tipo de modelos probabilísticos por muy sofisticados que éstos sean. En consecuencia, no existen impedimentos hoy día, ni por falta de información disponible ni por carencias científico-tecnológicas, para acometer la evaluación de la fiabilidad y operatividad de nuestras obras marítimo-portuarias a través de los métodos probabilísticos más completos y avanzados, cuestión de la que se hacen eco estas recomendaciones.

En segundo lugar, la metodología general de la ROM está plenamente encajada en los procesos que hoy día rigen para la planificación de proyectos de infraestructuras portuarias. La forma en que se evalúa el riesgo se basa también en la relevancia económica del posible fallo de uno o varios elementos de la infraestructura, y también de su potencial impacto socio-económico. Para ello, se obliga a distinguir claramente entre los periodos de ejecución y los de servicio, asociados a las correspondientes vidas útiles, con una visión

orientada a la finalidad última de atender la demanda prevista. La ROM pasa a ser así un activo tecnológico dirigido a objetivar al máximo posible el proceso de toma de decisiones en torno al desarrollo portuario, coherente con el objetivo de rentabilización de las inversiones en infraestructuras en el momento en que se programan y de su mantenimiento y aprovechamiento posterior.

Pero interesa resaltar aquí como valor propio de esta nueva ROM dirigida a los atraques y amarres, la consideración de las cuestiones relativas a la explotación portuaria, por su innovador enfoque. En la presente publicación se logra un entronque entre el ámbito de la ingeniería civil en materia de infraestructuras, tradicionalmente de origen público y muy centrada en la fiabilidad estructural, y el ámbito de las operaciones y los servicios portuarios, más imbricado con el negocio de los puertos, hoy día en su inmensa mayoría a cargo de empresas privadas que cuentan con licencia o autorización otorgada por la Autoridad Portuaria.

Ambos ámbitos deben evaluarse conjuntamente si se desea alcanzar un óptimo económico integral tanto para el promotor de la infraestructura como para los operadores que van a utilizarla. No se entiende el diseño de unas obras de atraque o de amarre (a cargo de un promotor como la Autoridad Portuaria o de un operador de terminal) si no es desde la perspectiva de unos niveles mínimos de operatividad a garantizar al buque que se espera atender (a cargo de armadores y navieros) y a las instalaciones y equipos a los que se espera dar soporte (a cargo de empresas estibadoras y prestadoras de otros servicios portuarios). En consecuencia, los procedimientos de evaluación y verificación de la fiabilidad estructural, siempre necesarios, deben ser recogidos en una metodología sustentada en la explotación portuaria, en coherencia con la finalidad última de índole socio-económica con la que debe promoverse la obra marítimo-portuaria.

Junto a la idea de la operatividad, hay que reseñar por su relevancia a la hora de planificar futuros escenarios de infraestructura portuaria, la incorporación en esta nueva ROM del concepto de capacidad de la línea de atraque y, por extensión, del resto de subsistemas operativos de que se componen las diversas terminales portuarias. La estimación del máximo volumen de tráfico de buques, toneladas o pasajeros que en condiciones más probables, una terminal portuaria es capaz de atender, permite establecer una referencia para verificar los niveles de servicio actuales y fijar las metas a alcanzar. La capacidad es una medida de la oferta de la infraestructura portuaria que, al basarse en unidades de tráfico, es posible vincularla directamente con la demanda, medida en las mismas unidades, y aproximar así su grado de utilización. Se cuenta entonces con un termómetro de la eficacia con que se planifica una infraestructura portuaria a medio y largo plazo, en relación con los tráficos reales que finalmente van apareciendo.

Además, el concepto de capacidad que se desarrolla en el presente documento, recoge en su seno una serie de variables relacionadas con la eficiencia, el rendimiento y la productividad, cuyo empleo se hace muy útil para el promotor de la infraestructura marítima,

sea la Autoridad Portuaria sea la empresa privada, en su objetivo de optimizar la explotación de la misma. Para ello, resulta de gran interés recoger información que alimente tales variables, de forma que sean fiel reflejo de las mejores prácticas en materia de explotación portuaria.

Quisiera agradecer a todos los miembros de la amplia Comisión Técnica su participación en la elaboración de estas Recomendaciones, y en especial a los miembros de la ponencia que conjuntamente conmigo mismo durante años han aportado su esfuerzo para construir las bases técnicas de este documento. Sin ellos hubiera sido imposible lograr los avances metodológicos alcanzados. Se ha logrado nada menos que aunar dos tipos de fiabilidad, la estructural y la funcional, en un método más completo de evaluación del riesgo, de modo tal que se abre un camino para que las Autoridades Portuarias o en su caso, las empresas privadas, promuevan una oferta de infraestructuras marítimo-portuarias plenamente acorde con las necesidades reales de la demanda y a la vez firmemente comprometidas con lo que la sociedad en su conjunto espera de ellas.

En Madrid, a 23 de julio de 2012

José Llorca Ortega

**PRESIDENTE
PUERTOS DEL ESTADO**

Índice General

TOMO I

Prólogo	5
CAPÍTULO I. GENERAL	
1.1. ÁMBITO DE APLICACIÓN	23
1.2. CONTENIDO	23
1.3. SISTEMA DE UNIDADES	24
1.4. RECOMENDACIONES Y NORMATIVA COMPLEMENTARIAS	25
1.5. PROCESO DE REDACCIÓN DE LA ROM 2.0-11	25
1.6. COMENTARIOS	27
CAPÍTULO II. TIPOS Y FUNCIONES DE LAS OBRAS DE ATRAQUE Y AMARRE	
2.1. CLASIFICACIÓN GENERAL	33
2.2. CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	35
2.3. CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN FÍSICA DEL ATRAQUE	35
2.3.1. Obras de atraque de uso comercial	35
2.3.1.1. Para graneles líquidos	35
2.3.1.2. Para graneles sólidos	36
2.3.1.3. Para mercancía general	37
2.3.1.4. Para pasajeros	38
2.3.2. Obras de atraque de uso pesquero	39
2.3.3. Obras de atraque de uso náutico-deportivo	39
2.3.4. Obras de atraque de uso industrial	39
2.3.5. Obras de atraque de uso militar	39
2.4. CONCEPCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO GENERAL	40
2.4.1. Partes y elementos de una obra de atraque y amarre	40
2.4.2. Clasificación de las obras de atraque y amarre en función de la tipología estructural de sus partes	41
2.4.2.1. Obras fijas cerradas	42
2.4.2.2. Obras fijas abiertas	51
2.4.2.3. Obras flotantes	53
2.5. CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL	55
2.5.1. Consideraciones de uso y explotación	55
2.5.2. Consideraciones geotécnicas	56
2.5.3. Consideraciones morfológicas	57

2.5.4.	Consideraciones climáticas	57
2.5.5.	Consideraciones medioambientales	58
2.5.6.	Consideraciones constructivas y de los materiales	58
2.5.7.	Consideraciones sísmicas	59
2.5.8.	Consideraciones de conservación y mantenimiento	59

CAPÍTULO III. DIMENSIONAMIENTO EN PLANTA Y ALZADO, BASES DE DISEÑO Y CRITERIOS GENERALES DE PROYECTO

3.1.	INTRODUCCIÓN	65
3.2.	DIMENSIONAMIENTO EN PLANTA Y ALZADO	65
3.2.1.	Dimensionamiento en planta	67
3.2.1.1.	Emplazamiento	67
3.2.1.2.	Orientación	67
3.2.1.3.	Alineaciones	68
3.2.1.4.	Número de atraques	68
3.2.1.5.	Longitud total de la línea de atraque	79
3.2.1.5.1.	Uso comercial, industrial y militar	79
3.2.1.5.2.	Uso pesquero	82
3.2.1.5.3.	Uso náutico-deportivo	82
3.2.1.6.	Posición y dimensiones en planta de tacones y rampas	83
3.2.1.6.1.	Tacones fijos	84
3.2.1.6.1.1.	Tacón fijo dando servicio a un único atraque	84
3.2.1.6.1.2.	Tacón fijo dando servicio a dos atraques situados en la misma alineación	85
3.2.1.6.1.3.	Tacón fijo dando servicio a dos atraques situados en diferentes alineaciones	85
3.2.1.6.2.	Rampas móviles con tacones auxiliares fijos	87
3.2.1.6.2.1.	Rampas móviles	87
3.2.1.6.2.2.	Tacones auxiliares fijos	89
3.2.1.6.3.	Tacones flotantes y rampas auxiliares	90
3.2.1.6.3.1.	Tacones flotantes	90
3.2.1.6.3.2.	Rampa auxiliar	91
3.2.1.7.	Anchura	92
3.2.1.7.1.	Área de operación	93
3.2.1.7.2.	Área de almacenamiento	98
3.2.1.7.2.1.	Capacidad de almacenamiento requerida	99
3.2.1.7.2.2.	Superficie de almacenamiento requerida	103
3.2.1.7.3.	Área de servicios auxiliares y complementarios	105
3.2.1.7.4.	Definición de la anchura de la instalación de atraque	107
3.2.1.8.	Accesos terrestres	107
3.2.1.8.1.	Previsión de tráfico viario	108
3.2.1.8.2.	Previsión de tráfico ferroviario	109
3.2.2.	Dimensionamiento en alzado	110
3.2.2.1.	Nivel de coronación del atraque	110
3.2.2.1.1.	Nivel de coronación por condiciones de explotación	111
3.2.2.1.2.	Nivel de coronación por condiciones de no rebasabilidad de las aguas exteriores	112

3.2.2.1.3.	Nivel de coronación por condiciones de no inundación por los niveles freáticos en el trasdós	114
3.2.2.2.	Calado del atraque	115
3.2.2.3.	Perfil longitudinal de tacones y rampas	120
3.2.2.3.1.	Tacones fijos	121
3.2.2.3.2.	Rampas móviles y tacones flotantes	122
3.2.2.4.	Pendientes del área de operación y almacenamiento	123
3.2.2.4.1.	Pendientes en el área de operación	123
3.2.2.4.2.	Pendientes en el área de almacenamiento	127
3.3.	BASES DE DISEÑO	127
3.3.1.	Procedimiento de verificación	127
3.3.2.	Modos de fallo asociados a estados límites últimos (ELU)	128
3.3.3.	Modos de fallo asociados a estados límites de servicio (ELS)	129
3.3.4.	Modos de parada asociados a estados límite de parada operativa (ELO)	130
3.3.5.	Métodos de cálculo	131
3.3.5.1.	Formulación de la ecuación de verificación	134
3.3.5.1.1.	Formulación determinista	134
3.3.5.1.2.	Formulación determinista-probabilista	135
3.3.5.1.3.	Formulación probabilista	136
3.3.5.2.	Métodos de resolución de la ecuación de verificación y de cálculo de la probabilidad de fallo o parada	136
3.3.5.2.1.	Métodos de Nivel I	136
3.3.5.2.2.	Métodos de Niveles II y III	137
3.3.5.3.	Criterios para la aplicación de los métodos de resolución de la ecuación de verificación	137
3.4.	CRITERIOS GENERALES DE PROYECTO	138
3.4.1.	Tramos	138
3.4.2.	Carácter general y operativo de cada tramo	139
3.4.2.1.	Carácter general del tramo	139
3.4.2.2.	Carácter operativo del tramo	139
3.4.3.	Fases de proyecto y su duración.Vida útil	142
3.4.4.	Criterios de seguridad, servicio y explotación	143
3.4.4.1.	Fiabilidad frente a modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos	143
3.4.4.2.	Funcionalidad frente a modos de fallo adscritos a Estados Límite de Servicio	145
3.4.4.3.	Operatividad frente a modos de parada adscritos a Estados Límite Operativos.....	146

TOMO II

CAPÍTULO IV. DEFINICIÓN DE LOS ESTADOS Y SITUACIONES DE PROYECTO

4.1.	SELECCIÓN DE LOS ESTADOS A CONSIDERAR
4.1.1.	Para métodos de Nivel I
4.1.1.1.	Verificación de modos de fallo adscritos a estados límites últimos
4.1.1.2.	Verificación de modos de fallo adscritos a estados límites de servicio
4.1.1.3.	Verificación de modos de parada operativa
4.1.2.	Para métodos de Niveles II y III
4.2.	DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS
4.2.1.	Geometría de la obra de atraque y amarre

- 4.2.2. Geometría del terreno
- 4.2.3. Niveles de las aguas
- 4.3. DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL TERRENO
 - 4.3.1. Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas
 - 4.3.2. Para formulaciones probabilistas
- 4.4. DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
- 4.5. DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL MEDIO FÍSICO
- 4.6. DEFINICIÓN DE LOS AGENTES Y SUS ACCIONES
 - 4.6.1. Agente gravitatorio (q_g)
 - 4.6.1.1. Peso propio (Q_{g1})
 - 4.6.1.2. Pesos muertos (Q_{g2})
 - 4.6.2. Agentes del medio físico (q_f)
 - 4.6.2.1. Agentes atmosféricos básicos y climáticos marinos
 - 4.6.2.2. Otros agentes climáticos atmosféricos ($q_{fc,3}$)
 - 4.6.2.3. Agente térmico (q_{ft})
 - 4.6.2.4. Agente sísmico (q_{fs})
 - 4.6.3. Agentes del terreno (q_t)
 - 4.6.3.1. Formulación de las acciones debidas o transmitidas por el terreno (Q_t)
 - 4.6.4. Agentes de uso y explotación (q_v)
 - 4.6.4.1. Estacionamiento y almacenamiento de mercancías ($q_{v,1}$)
 - 4.6.4.2. Manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros ($q_{v,2}$)
 - 4.6.4.3. Tráfico terrestre ($q_{v,3}$)
 - 4.6.4.4. Operaciones de los buques ($q_{v,4}$)

(CD con Edición completa de los Tomos I y II)

Índice de Figuras (Tomo I)

CAPÍTULO II. TIPOS Y FUNCIONES DE LAS OBRAS DE ATRAQUE Y AMARRE

Figura 2.1.1.	Clasificación general de las obras de atraque y amarre	34
Figura 2.4.1.	Obra de atraque de bloques. Sección tipo	43
Figura 2.4.2.	Muelle de hormigón sumergido. Sección tipo	44
Figura 2.4.3.	Obras de atraque de cajones. Sección tipo	45
Figura 2.4.4.	Obra de atraque de elementos en "L". Sección tipo	46
Figura 2.4.5.	Obra de atraque de pantallas sin plataforma superior de descarga. Sección tipo	48
Figura 2.4.6.	Obra de atraque de pantallas con plataforma superior de descarga. Sección tipo	49
Figura 2.4.7.	Obra de atraque de recintos de tablestacas. Sección tipo	50
Figura 2.4.8.	Obra de atraque de pilotes. Sección tipo	52
Figura 2.4.9.	Obra de atraque y amarre flotante. Boya. Sección tipo	54
Figura 2.4.10.	Obra de atraque y amarre flotante. Pantalán. Sección tipo	54
Figura 2.4.11.	Ejemplo de obra de atraque y amarre flotante de cajones. Dique-muelle de la Condamine (Mónaco)	55

CAPÍTULO III. DIMENSIONAMIENTO EN PLANTA Y ALZADO, BASES DE DISEÑO Y CRITERIOS GENERALES DE PROYECTO

Figura 3.2.1.	Longitud de la línea de atraque en atraques discontinuos aislados	81
Figura 3.2.2.	Longitud de la línea de atraque ocupada por una embarcación deportiva atracada de punta	82
Figura 3.2.3.	Diferenciación de áreas terrestres en una instalación de atraque tipo muelle, con uso comercial y utilizando sistemas de carga y descarga de mercancías mediante equipos de rodadura restringida sobre carriles. Definición de anchuras	92
Figura 3.2.4.	Dimensiones recomendables en planta del área de operación en una instalación de atraque tipo muelle con tacones fijos, con uso comercial y utilizando sistemas de carga y descarga por rodadura mediante todo tipo de equipos auxiliares de manipulación	95
Figura 3.2.5.	Dimensiones en planta del área de operación en una instalación de atraque tipo pantalán atracable por ambos lados, con uso comercial y utilizando sistemas de carga y descarga por rodadura (pantalán no utilizable para el embarque y desembarque de pasajeros)	96
Figura 3.2.6.	Dimensiones en planta de la parte del área de operación correspondiente al pantalán en una instalación de atraque multipropósito ro-pax estándar con configuración física de la obra de atraque tipo pantalán (atracable por un solo lado)	97
Figura 3.2.7.	Disposiciones estándar de huellas (slots) y viales de circulación para sistemas de manipulación en área de almacenamiento tipo pórtico	106
Figura 3.2.8.	Estimación de la sobreelevación de la cresta de ola sobre el nivel medio, utilizando un modelo de oleaje no lineal	114
Figura 3.2.9.	Factores que inciden en la definición del calado en la línea de atraque	116
Figura 3.2.10.	Mínima extensión en planta del calado del atraque	120
Figura 3.2.11.	Pendientes en el área de operación en configuraciones físicas de la instalación de atraque tipo muelle, con uso comercial y utilizando sistemas de carga y descarga de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros mediante equipos de rodadura restringida sobre carriles	125
Figura 3.2.12.	Pendientes en el área de operación en configuraciones físicas de la instalación de atraque tipo pantalán, con uso comercial ro-ro sin uso de pasajeros	126
Figura 3.4.4.1.	Fiabilidad óptima de una obra de atraque y amarre asociada al valor mínimo de la función de costes generalizada	145

Índice de Tablas (Tomo I)

CAPÍTULO II. TIPOS Y FUNCIONES DE LAS OBRAS DE ATRAQUE Y AMARRE

Tabla 2.3.1.	Configuraciones físicas del atraque que suelen ser más convenientes en función del tipo de tráfico	40
--------------	--	----

CAPÍTULO III. DIMENSIONAMIENTO EN PLANTA Y ALZADO, BASES DE DISEÑO Y CRITERIOS GENERALES DE PROYECTO

Tabla 3.2.1.1.	Rendimientos brutos medios horarios indicativos de los equipos de manipulación de mercancías que se dan actualmente en los puertos españoles (R)	73
Tabla 3.2.1.2.	Tasa de ocupación (ϕ) correspondiente a los sistemas de esperas más característicos en las instalaciones de atraque, para esperas relativas (τ) de 0.10, 0.25 y 0.50	76
Tabla 3.2.1.3.	Valores umbrales de los agentes climáticos y océano-meteorológicos que generalmente se adoptan como limitativos de diferentes modos de parada operativa en las obras de atraque y amarre	77
Tabla 3.2.1.4.	Valores medios, usuales en España (2004) de los volúmenes máximos anuales por atraque y por metro lineal del muelle, para el tráfico de contenedores considerando muelle continuo	79
Tabla 3.2.1.5.	Resguardos en planta recomendados en línea de atraque	80
Tabla 3.2.1.6.	Posiciones y dimensiones en planta de tacones fijos	86
Tabla 3.2.1.7.	Posición y dimensiones en planta de rampas móviles y tacones auxiliares fijos	90
Tabla 3.2.1.8.	Posición y dimensiones en planta de tacones flotantes y rampas auxiliares	91
Tabla 3.2.1.9.	Índices de ocupación usuales en áreas de almacenamiento de terminales para tráfico de contenedores	105
Tabla 3.2.1.10.	Parámetros recomendados para determinar previsiones de tráfico viario generado por una instalación de atraque	108
Tabla 3.2.1.11.	Parámetros recomendados para determinar previsiones de tráfico ferroviario generado por una instalación de atraque	110
Tabla 3.2.2.1.	Criterios para la determinación de niveles mínimos de coronación de las obras de atraque fijas	115
Tabla 3.2.2.2.	Formulación simplificada para la estimación del calado del atraque a partir del nivel de referencia de las aguas exteriores adoptado (ventana de marea operativo o ventana de marea extraordinaria)	119
Tabla 3.2.2.3.	Tacón fijo. Perfil longitudinal estándar o indicativo de validez para buques con niveles operativos en sus portalones de proa o popa entre 0.25 m y 1.75 m por encima del nivel de las aguas exteriores (en general buques con $\Delta_{pc} < 10.000$ t)	120
Tabla 3.2.2.4.	Tacón fijo. Perfil longitudinal estándar o indicativo de validez para buques con niveles operativos en sus portalones de proa o popa entre 1.50 m y 3.00 m por encima del nivel de las aguas exteriores (en general buques con $\Delta_{pc} \geq 10.000$ t)	121
Tabla 3.2.2.5.	Rampa móvil sustentada en el lado mar mediante estructuras fijas que incluyen dispositivos elevadores con capacidad para mover la rampa. Perfil longitudinal estándar con validez para todo tipo de buques	122
Tabla 3.2.2.6.	Tacón flotante. Perfil longitudinal estándar con validez para todo tipo de buques	123
Tabla 3.2.2.7.	Rampa móvil sustentada en el mar mediante estructura flotante. Perfil longitudinal estándar con validez para todo tipo de buques	124
Tabla 3.3.5.1.	Métodos de resolución de la ecuación de verificación en función de los Índices de Repercusión Económica (IRE) y de Impacto social y ambiental (ISA)	138
Tabla 3.4.2.1.	Índices de Repercusión Económica (IRE) y Vidas útiles mínimas (V_{min}) recomendados para las obras de atraque y amarre en función de su uso	140

Tabla 3.4.2.2.	Índices de Repercusión Social y Ambiental (ISA) y máximas probabilidades conjuntas de fallo durante la vida útil correspondientes a modos de fallo adscritos a Estados Límites Últimos ($p_{f,ELU}$) y a Estados Límite de Servicio ($p_{f,ELS}$), recomendados para las obras de atraque y amarre en función de su uso	141
Tabla 3.4.2.3.	Índices de Repercusión Económica Operativos (IREO) y operatividades mínimas durante la vida útil ($r_{f,ELO}$), recomendados para las obras de atraque y amarre en función de su uso	141
Tabla 3.4.2.4.	Índices de Repercusión Social y Ambiental Operativos (ISAO) y máximo Número medio anual de paradas operativas (N_m), recomendados para las obras de atraque y amarre en función de su uso	142
Tabla 3.4.4.1.	Duraciones máximas probables de parada operativa ($\tau_{m\acute{a}x}$) para las obras de atraque y amarre que no es recomendable que sean superadas	148

Capítulo I

General



Índice Capítulo I

CAPÍTULO I. GENERAL

I.1. ÁMBITO DE APLICACIÓN	23
I.2. CONTENIDO	23
I.3. SISTEMA DE UNIDADES	24
I.4. RECOMENDACIONES Y NORMATIVA COMPLEMENTARIAS	25
I.5. PROCESO DE REDACCIÓN DE LA ROM 2.0-11	25
I.6. COMENTARIOS	27

1.1 ÁMBITO DE APLICACIÓN

La ROM 2.0-11. *Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre. Criterios generales y factores de proyecto*, es de aplicación a la planificación, proyecto, construcción, explotación, conservación, reparación y desmantelamiento de las obras de atraque y amarre, cualesquiera que sea su uso, configuración física y tipología estructural, así como cualesquiera que sean los materiales utilizados, los buques y embarcaciones espedables en el atraque y los equipos y medios empleados en su construcción, operación, conservación, reparación y desmantelamiento.

Asimismo, esta Recomendación es de aplicación de forma complementaria a las restantes Recomendaciones de la Serie 1. *Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de abrigo, para el proyecto, construcción, explotación, conservación, reparación y mantenimiento de aquellas obras de abrigo en las que esté previsto el atraque y amarre de buques o embarcaciones.*

1.2 CONTENIDO

La ROM 2.0-11 es el primer documento del Programa ROM que se aprueba correspondiente a esta nueva Serie 2, dedicada a las obras de atraque y amarre, una de las infraestructuras más características y relevantes de los puertos, conjuntamente con las obras de abrigo, constituyendo una parte fundamental y específica de la ingeniería portuaria. Estas infraestructuras absorben importantes niveles de la inversión anual del total de inversiones, tanto públicas como privadas, que se produce en los puertos de todo el mundo y de su adecuada planificación, proyecto, construcción y operación depende en gran medida la seguridad del buque y de las embarcaciones durante su permanencia en el puerto, así como la seguridad y eficiencia de las operaciones portuarias.

Esta primera Recomendación de la Serie está dedicada a los criterios generales y a la definición de los factores necesarios para la planificación, proyecto y construcción de las obras de atraque y amarre, aunque también es de aplicación para la obtención de la capacidad de las terminales portuarias y para coadyuvar a una explotación eficiente de las mismas. En este sentido, puede considerarse esta ROM 2.0-11 como una Recomendación, no únicamente dirigida a las obras de atraque y amarre en sentido estricto que forman parte del subsistema de carga y descarga del buque, sino también al diseño y operación de la totalidad de subsistemas operativos que constituyen una terminal portuaria, entendiendo como terminal portuaria al intercambiador dentro del modo marítimo o entre éste y los modos de transporte terrestre, viario y ferroviario, y en su caso fluvial, dotado de las infraestructuras, el equipamiento y la organización necesarios para asegurar que la continuidad del flujo de mercancías entre los diferentes modos se produzca de forma eficaz, eficiente y segura.

La idea matriz que sustenta esta ROM 2.0-11 es que no es posible diseñar correctamente una obra de atraque y amarre, y en consecuencia una terminal portuaria, sin tomar en consideración los buques, las condiciones, equipos y criterios con los que ésta va ser operada y los niveles de operatividad asociados a los mismos en las condiciones climáticas, físicas, morfológicas y medioambientales del emplazamiento. Por dicha razón también puede utilizarse esta ROM 2.0-11 en muchos de sus apartados como una Recomendación para el ámbito de la explotación portuaria.

La recomendación favorece y facilita la implantación práctica y amigable de procesos metodológicos basados en la valoración y verificación de los niveles adecuados de seguridad y operatividad en las obras de atraque y amarre en cada una de las fases de servicio tanto mediante formulaciones deterministas-probabilistas como probabilistas, así como en las consecuencias que de ello se derivan para la optimización económica de las obras y operativa de las terminales, en desarrollo de lo dispuesto en el procedimiento y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuaria incluido en la segunda generación de Recomendaciones del Programa ROM a partir de la publicación de la ROM 0.0.

Esta Recomendación también procede a actualizar los contenidos de algunas de las Recomendaciones publicadas con anterioridad, en algunos casos completamente desfasados o superados por la experiencia acumulada y por los avances tecnológicos que se han producido en los últimos 20 años en el conocimiento en general y en

particular en los buques, en los equipos de manipulación de mercancías y de embarque y desembarque de pasajeros y en los criterios y prácticas de explotación portuaria. Es de destacar especialmente cómo esta ROM 2.0-11 supone una completa actualización de las dos anteriores ROM 0.2-90. Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias y ROM 2.0-08, versión predefinitiva y parcial de la presente Recomendación ROM 2.0, procediéndose a clasificar ambas como “no en vigor”.

La ROM 2.0-11 se estructura en cuatro capítulos, con el siguiente contenido:

◆ **Capítulo 1. General**

Incluye los aspectos generales y organizativos asociados con el ámbito de aplicación y contenidos, así como con el proceso de elaboración de la Recomendación.

◆ **Capítulo 2. Tipos y funciones de las obras de atraque y amarre**

En este capítulo se definen y clasifican los diferentes tipos de obras de atraque y amarre en función tanto de su configuración física y funcional como de su tipología estructural, estableciéndose los criterios para la elección de la configuración física y la tipología estructural de la obra más adecuada en función de los usos, la operativa y demás condiciones existentes en el emplazamiento. Este Capítulo incluye la concepción y predimensionamiento de cada una de las partes y elementos en las que se puede dividir una obra de atraque para cada tipología estructural.

◆ **Capítulo 3. Dimensionamiento en planta y alzado**

En este Capítulo se definen los criterios y factores a tomar en consideración para el dimensionamiento en planta y alzado de las obras de atraque y amarre, así como de las áreas en las que se desarrollan los principales subsistemas operativos que conforman las terminales portuarias (área de operación, área de almacenamiento y depósito y accesos terrestres). Como parte del dimensionamiento en planta y alzado de las obras de atraque y amarre, se incluye el dimensionamiento de los tacones y rampas necesarios en las instalaciones de atraque en las que se realice total o parcialmente la carga y descarga de buques por rodadura.

El contenido de este Capítulo puede ser utilizado en sentido inverso para la determinación de la capacidad de las líneas de atraque y de los distintos subsistemas operativos que conforman las terminales portuarias, por lo que constituye una herramienta de primer orden tanto para la planificación como para la explotación portuarias, al permitir cuantificar la incidencia de los diferentes factores operativos en la mejora de la eficiencia y productividad de las terminales y, en consecuencia, en las necesidades infraestructurales que permiten dar servicio a la demanda prevista.

◆ **Capítulo 4. Definición de los estados o situaciones de proyecto**

En este Capítulo se desarrollan los criterios y los distintos métodos para la verificación de la seguridad y operatividad de las obras de atraque y amarre, definiéndose de forma sistemática los estados o situaciones de proyecto que deben considerarse en el proceso de verificación de dichas obras en un determinado emplazamiento, en función del método adoptado para la formulación y resolución de las ecuaciones de verificación de los distintos modos de fallo y parada operativa. En este sentido se definen todos los factores de proyecto que inciden en el proceso de verificación de las obras de atraque y amarre (parámetros geométricos, propiedades de los materiales de construcción, propiedades del medio físico y agentes y sus acciones) tanto para la adopción de métodos deterministas-probabilistas como probabilistas de formulación y resolución de las ecuaciones de verificación.

I.3 SISTEMA DE UNIDADES

El sistema de unidades usado con carácter general en estas Recomendaciones corresponde al Sistema Legal de Medida obligatorio en España, denominado Sistema Internacional de Unidades (SI).

Las unidades básicas del Sistema Internacional más comúnmente utilizadas en esta Recomendación son las siguientes:

- ◆ Longitud : metro (m).
- ◆ Masa: kilogramo (kg) o su múltiplo la tonelada (t, siendo 1 t = 1000 kg).
- ◆ Tiempo: segundo (s).
- ◆ Temperatura: grado centígrado (°C).
- ◆ Fuerza: Newton (N) o su múltiplo del kiloNewton (kN, siendo 1 kN = 1000 N).
- ◆ Frecuencia: Hertz (Hz).

Lo anterior se establece sin perjuicio de utilizar algunas unidades ajenas al Sistema Internacional de Unidades pero que tienen una gran tradición en el campo de la náutica y del transporte marítimo (p.e. el nudo, unidades GT, unidades TRB, unidades RT, ...).

La relación del nudo con la unidad derivada de velocidad del Sistema Internacional (m/s y km/s) es:

- ◆ 1 nudo = 0.5145 m/s = 1.85 km/h

I.4 RECOMENDACIONES Y NORMATIVA COMPLEMENTARIAS

Para una correcta aplicación de esta ROM 2.0-11 se deberá tomar en consideración complementariamente lo dispuesto en las siguientes Recomendaciones en vigor del Programa ROM, siempre que no sea contradictorio con lo dispuesto en la presente Recomendación:

- ◆ **ROM 0.0.** Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias.
- ◆ **ROM 0.3-91.** Acciones climáticas I: Oleaje. Clima Marítimo en el litoral español.
- ◆ **ROM 4.1-94.** Proyecto y construcción de pavimentos portuarios.
- ◆ **ROM 0.4-95.** Acciones climáticas II: Viento.
- ◆ **ROM 3.1-99.** Proyecto de configuración marítima en puertos; canales de acceso y áreas de flotación.
- ◆ **ROM 0.5-05.** Recomendaciones geotécnicas para las obras marítimas y portuarias.
- ◆ **ROM 5.1-05.** Calidad de las aguas litorales
- ◆ **ROM 1.0-09.** Recomendaciones para el diseño y ejecución de obras de abrigo. Parte I^a. Bases y factores para el proyecto. Agentes climáticos.

Asimismo deberán tomarse en consideración los Códigos e Instrucciones oficiales en el ámbito de la ingeniería civil, tanto españolas como de la Unión Europea, en cuyo ámbito de aplicación pueda considerarse que están incluidas las obras de atraque y amarre.

I.5 PROCESO DE REDACCIÓN DE LA ROM 2.0-11

La ROM 2.0-11. *Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre. Criterios generales y factores de proyecto* ha sido redactada bajo el mandato del Organismo Público Puertos del Estado, adscrito al Ministerio de Fomento, en el seno de una amplia Comisión Técnica constituida al efecto con participación de expertos pertenecientes a diferentes sectores institucionales, empresariales y académicos en el campo de la ingeniería y la operativa portuarias. Los acuerdos en el seno de la Comisión Técnica se han adoptado por consenso, a partir del debate de una versión de Ponencia.

La Comisión Técnica ha estado formada, en todas sus fases de elaboración, por los siguientes miembros:

- ◆ **Presidente de la Comisión y Director del Programa ROM:**
José Llorca, *Puertos del Estado*

- ◆ **Autores de Ponencia para la ROM 2.0-11:**
 - Sergi Ametller, *SENER*
 - José Manuel González Herrero, *ACCIONA INGENIERÍA*
 - José Llorca, *Puertos del Estado*

- ◆ **Miembros participantes en su Comisión Técnica de Expertos:**
 - Manuel Arana, *Puertos del Estado*
 - José María Berenguer, *BERENGUER INGENIEROS*
 - Alfredo Carrasco, *Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras*
 - Juan Carlos Carretero, *Puertos del Estado*
 - Beatriz Colunga, *Autoridad Portuaria de Vigo*
 - Jesús Corral, *Universidad Politécnica de Cataluña*
 - Julio de la Cueva, *Autoridad Portuaria de Gijón*
 - Mario de Miguel, *Autoridad Portuaria de Gijón*
 - Javier Escartín, *PROINTEC*
 - Francisco Esteban, *FCC*
 - Enrique de Faragó, *PROES*
 - Jorge Flores, *KV CONSULTORES*
 - Xavier Gesé, *Puertos del Estado*
 - Gonzalo Gómez Barquín, *Puertos del Estado*
 - Miguel Ángel Gómez Caldito, *ALATEC*
 - Marta Gómez Lahoz, *Puertos del Estado*
 - Gregorio Gómez Pina, *D.G. Costas. Ministerio del Medio Ambiente*
 - Noelia González Patiño, *DRAGADOS ACS*
 - Juan Ignacio Grau, *Puertos del Estado*
 - Gregorio Iglesias, *Universidad de Santiago de Compostela*
 - José Ramón Iribarren, *SIPORT XXI*
 - Ana de Lope, *Puertos del Estado*
 - Luis López González, *SIPORT XXI*
 - Cristina López Arias, *Autoridad Portuaria de Bilbao*
 - Miguel Ángel Losada, *Universidad de Granada*
 - Enrique Maciñeira, *Autoridad Portuaria de Coruña*
 - María Luisa Magallanes, *EGENOR*
 - María Jesús Martín Soldevilla, *Centro de Estudios Puertos y Costas*
 - David Martínez Lorente, *SENER*
 - Josep Ramón Medina Folgado, *Universidad Politécnica de Valencia*
 - José María Medina Villaverde, *NAUTILUS INGENIERÍA MARÍTIMA*
 - Rafael Molina, *TIPSA*
 - Pablo Molinero, *DRAGADOS ACS*
 - José Luis Monsó de Prat, *Instituto de Hidrodinámica Aplicada INHA*
 - Javier Mora, *Autoridad Portuaria de Tenerife*
 - José Moyano, *Autoridad Portuaria de Gijón*
 - Vicente Negro, *Universidad Politécnica de Madrid*
 - Begoña Pérez Gómez, *Puertos del Estado*
 - Carlos Pérez Quintero, *Puertos de Andalucía*
 - Eloy Pita Olalla, *INCREA*
 - Ignacio Rodríguez Sánchez-Arévalo, *Puertos del Estado*
 - Antonio Marcos Ruiz Vega, *Autoridad Portuaria Bahía de Cádiz*
 - Olga Sánchez Luzón, *Autoridad Portuaria de Sevilla*
 - Carlos Sanchidrián, *PROES*
 - Francisco Javier de los Santos, *Autoridad Portuaria Bahía Algeciras*
 - Obdulio Serrano, *Puertos del Estado*
 - Antonio Soriano, *INGENIERÍA DEL SUELO*
 - Juan Carlos Suñé, *Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras*
 - Javier Uzcanga, *Autoridad Portuaria de Barcelona*
 - José María Valdés, *EPTISA*
 - César Vidal, *Universidad de Cantabria*
 - José Luis Zatarain, *Autoridad Portuaria de Santander*

- ◆ **Coordinador general del Programa ROM:**
Francisco José González Portal, *Puertos del Estado*

I.6 COMENTARIOS

Cualesquier aclaraciones, comentarios, experiencias de aplicación, sugerencias u otras aportaciones que puedan presentarse sobre la presente *ROM 2.0-11*, serán bienvenidos con el fin de ser tomados en consideración en futuros procesos de revisión.

Podrán remitirse en todo momento a la Coordinación General del Programa ROM por la siguiente dirección de correo electrónico: *programarom@puertos.es*

Capítulo II
Tipos y funciones de las
obras de atraque y amarre



Índice Capítulo II

CAPÍTULO II. TIPOS Y FUNCIONES DE LAS OBRAS DE ATRAQUE Y AMARRE

2.1. CLASIFICACIÓN GENERAL	33
2.2. CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	35
2.3. CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN FÍSICA DEL ATRAQUE	35
2.3.1. Obras de atraque de uso comercial	35
2.3.1.1. Para graneles líquidos	35
2.3.1.2. Para graneles sólidos	36
2.3.1.3. Para mercancía general	37
2.3.1.4. Para pasajeros	38
2.3.2. Obras de atraque de uso pesquero	39
2.3.3. Obras de atraque de uso náutico-deportivo	39
2.3.4. Obras de atraque de uso industrial	39
2.3.5. Obras de atraque de uso militar	39
2.4. CONCEPCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO GENERAL	40
2.4.1. Partes y elementos de una obra de atraque y amarre	40
2.4.2. Clasificación de las obras de atraque y amarre en función de la tipología estructural de sus partes	41
2.4.2.1. Obras fijas cerradas	42
2.4.2.2. Obras fijas abiertas	51
2.4.2.3. Obras flotantes	53
2.5. CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL	55
2.5.1. Consideraciones de uso y explotación	55
2.5.2. Consideraciones geotécnicas	56
2.5.3. Consideraciones morfológicas	57
2.5.4. Consideraciones climáticas	57
2.5.5. Consideraciones medioambientales	58
2.5.6. Consideraciones constructivas y de los materiales	58
2.5.7. Consideraciones sísmicas	59
2.5.8. Consideraciones de conservación y mantenimiento	59

2.1 CLASIFICACIÓN GENERAL

El objetivo fundamental de una obra de atraque y amarre es proporcionar a los buques unas condiciones adecuadas y seguras para su permanencia en puerto y/o para que puedan desarrollarse las operaciones portuarias necesarias para las actividades de carga, estiba, desestiba, descarga y transbordo así como embarque y desembarque de pasajeros, vehículos y mercancías que permitan su transferencia entre buques o entre éstos y tierra u otros medios de transporte.

Las obras de atraque y amarre pueden clasificarse en:

- ◆ Muelles.
- ◆ Pantalanes.
- ◆ Duques de alba.
- ◆ Boyas, campos de boyas y monoboyas.
- ◆ Soluciones mixtas.
- ◆ Estaciones de transferencia a flote.

Los esquemas generales de cada una de estas configuraciones físicas tipo se recogen en la figura 2.1.1.

Los muelles se definen como estructuras de atraque y amarre fijas que conforman una línea de atraque continua, que en general excede en longitud al buque amarrado, y que están conectadas con tierra total o parcialmente mediante rellenos a lo largo de la parte posterior de las mismas, dando lugar a la creación de explanadas traseras adosadas.

Los pantalanes se definen como estructuras de atraque y amarre, fijas o flotantes, que pueden conformar líneas de atraque tanto continuas como discontinuas, atracables a uno o a ambos lados. El principal elemento diferencial respecto de los muelles es que no disponen de rellenos adosados y, por tanto, no dan lugar a la creación de explanadas. Pueden estar conectados o no a tierra. En el primer caso la conexión suele realizarse bien por prolongación de la misma estructura o mediante pasarelas o puentes.

En general, los pantalanes que conforman líneas de atraque discontinuas suelen responder a soluciones mixtas, al estar constituidos o complementarse con varios duques de alba de atraque y/o de amarre, plataformas auxiliares generalmente no atracables y boyas de amarre.

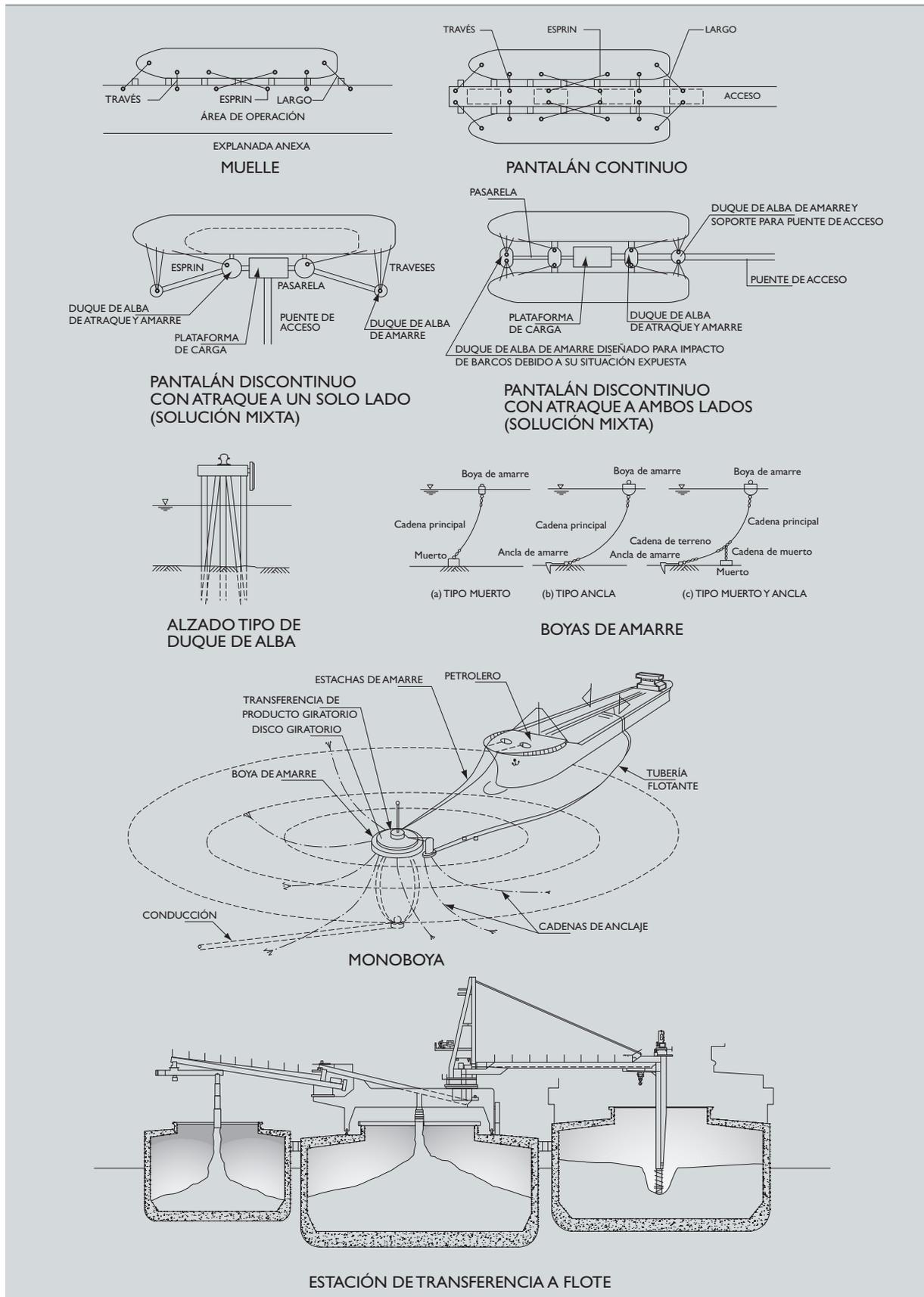
Los duques de alba son estructuras exentas y separadas de la costa que se utilizan como puntos de atraque, de amarre, de ayuda a las maniobras de atraque, así como de varias de estas tres funciones simultáneamente. Se pueden disponer aislados o formando parte de pantalanes discontinuos de solución mixta, bien delante o complementando a plataformas auxiliares no atracables, bien formando una única línea de atraque y amarre.

Las boyas son estructuras de amarre flotantes, cuya posibilidad de movimientos se encuentra limitada por una cadena amarrada a un ancla, a un muerto o a ambas cosas, los cuales suponen un punto fijo en el fondo. Una boya de amarre se denomina monoboya cuando adicionalmente permite la carga y descarga de graneles al estar conectada a tierra a través de una conducción submarina. En este caso la boya suele estar amarrada mediante varias cadenas con objeto de limitar al máximo sus movimientos horizontales.

Se denominan campos de boyas las disposiciones que posibilitan el amarre de un buque simultáneamente a varias boyas con el objeto de limitar los movimientos del buque amarrado.

Las estaciones de transferencia consisten en un buque silo dotado de medios de descarga que permite el atraque a ambos costados del mismo tanto de buques feeder o barcazas como de buques oceánicos. Este tipo de instalación supone una alternativa barata a instalaciones de transbordo en tierra, ya que puede funcionar en zonas poco abrigadas.

Figura 2.1.1. Clasificación general de las obras de atraque y amarre



2.2 CLASIFICACIÓN FUNCIONAL

Las obras de atraque y amarre que permiten la carga y descarga de mercancías y el embarque o desembarque de pasajeros, se clasifican en función del tipo de mercancía o pasajero que en ellas se embarca, desembarca o manipula en:

- ◆ De uso comercial.
- ◆ De uso pesquero.
- ◆ De uso náutico-deportivo.
- ◆ De uso industrial (en los que se incluyen la construcción y/o reparación de buques).
- ◆ De uso militar.

Los atraques de uso comercial pueden subdividirse en función del tipo de mercancía y de la modalidad de presentación de la carga en:

- ◆ Graneles líquidos.
- ◆ Graneles sólidos.
- ◆ Mercancía general (carga convencional, contenedores, ro-ro, ferris y multipropósito).
- ◆ Pasajeros (cruceiros y ferris).

2.3 CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN FÍSICA DEL ATRAQUE

La configuración física del atraque más conveniente depende principalmente del volumen y de los tipos de tráficos (mercancías o pasajeros) que deberán manipularse en el mismo, así como de los requerimientos operativos exigidos:

- ◆ Tamaño, composición y frecuencia de llegadas de la flota de buques.
- ◆ Necesidades de superficies y de equipos e instalaciones de carga y descarga en línea de atraque.
- ◆ Necesidad de áreas de almacenamiento más o menos próximas a la línea de atraque y de equipos e instalaciones de transporte entre ésta y las explanadas.
- ◆ Necesidades de conexión con el transporte terrestre.

La elección entre las diferentes configuraciones físicas posibles que cumplen los requerimientos operativos y las capacidades de línea de atraque y explanada necesarios, se realizará por criterios de optimización económica, tomando en consideración tanto los costes de construcción y conservación como la posible renovación o desmantelamiento, incluyendo además los sobrecostes inducidos por las paradas operativas y los riesgos ambientales y sociales de las operaciones. Como criterio general, se elegirá la tipología que dé lugar a un menor coste global generalizado por unidad de mercancía manipulada (o, en su caso pasajero embarcado y desembarcado).

El muelle suele ser la configuración del atraque que se adapta a todos los tipos de tráfico dado su gran flexibilidad operativa pero, dado que normalmente tiene un mayor coste de construcción que las otras configuraciones, no siempre es la más adecuada desde el punto de vista económico para atraques específicos. Salvo condiciones locales que pudieran afectar significativamente y una vez considerados todos los factores, las configuraciones físicas del atraque que para cada tipo de mercancía suelen dar lugar a un menor coste global generalizado por tonelada manipulada son las siguientes:

2.3.1 Obras de atraque de uso comercial

2.3.1.1 Para graneles líquidos

Los graneles líquidos son manipulados mediante el uso de instalaciones especiales de gran rigidez en las cuales el sistema de transporte de la mercancía es continuo entre el buque y los depósitos de almacenamiento, o

viceversa. A su vez, el carácter de mercancías peligrosas de gran parte de los graneles líquidos supone limitaciones importantes a su coexistencia con otros tráficos (distancias mínimas, procedimientos específicos de operación, etc.). Ello favorece infraestructuras específicas alejadas de las zonas más congestionadas del puerto. Estas circunstancias pueden obviarse solamente con escasas mercancías (vinos, aceites, cierto tipo de abonos, agua,...) que por su baja peligrosidad o por no ser necesarias instalaciones propias de almacenamiento pueden manipularse por sistemas discontinuos en obras de atraque no específicas.

a) Productos petrolíferos y químicos

Las configuraciones físicas de obra de atraque que suelen ser más convenientes para la manipulación de graneles líquidos petrolíferos y químicos (amoníaco, sulfúrico,...) en atraques específicos son las siguientes:

- ◆ Monoboyas ⁽¹⁾.
- ◆ Campos de boyas ⁽²⁾.
- ◆ Pantalanes discontinuos formados por soluciones mixtas.

al ser sólo preciso un único punto para la carga y descarga de la mercancía que se efectúa normalmente mediante bombeo por tubería en la zona central del buque y no ser necesario que los depósitos de almacenamiento se sitúen cercanos a la línea de atraque.

La elección entre las soluciones propuestas dependerá principalmente de las condiciones medioambientales, morfológicas y operativas locales: regímenes de viento y oleaje, profundidades, disponibilidad o no de remolcadores, etc., alguna de las cuales condicionan la capacidad de la línea de atraque y la calidad del servicio. No obstante, cuando los tráficos son importantes las soluciones más recomendables suelen ser los pantalanes discontinuos ya que facilitan la prestación de otros servicios al buque como avituallamiento, recogida de residuos, etc.

b) Gases licuados

Para gases licuados, tanto gas natural (LNG) como gases licuados del petróleo (LPG: propano, butano, ...), la configuración más conveniente es, en la mayor parte de los casos, el pantalán discontinuo, dado que los sistemas de manipulación exigidos consisten en brazos articulados de carga y descarga que deben quedar situados entre las válvulas de descarga del buque. Por otra parte, es imprescindible, especialmente para gas natural, que los depósitos de almacenamiento se sitúen en las proximidades de la línea de atraque por el alto coste de la tubería criogénica, por lo que el pantalán no debe estar alejado de una explanada en la que poder situar dichos tanques. Esta exigencia también descarta las configuraciones de monoboyas y campos de boyas.

c) Otros: aceites, agua,...

Dado que estos productos, salvo cuando se trate de volúmenes importantes, es habitual que se manipulen mediante sistemas discontinuos (tubería flexible con conexión al modo de transporte terrestre) también se descartan las configuraciones de monoboyas y campos de boyas. Cuando se trate de una terminal específica, la configuración más conveniente en estos casos será el pantalán discontinuo, aunque no debe descartarse que la manipulación de estas mercancías se realice en muelles multipropósito.

2.3.1.2 Para graneles sólidos

En el caso de los graneles sólidos, la carga o la descarga se efectúa a través de una serie de escotillas distribuidas a lo largo del buque, por lo que es conveniente que, independientemente del sistema de manipulación utilizado, la línea de atraque sea continua y de longitud no menor que la eslora del buque.

(1) Con carácter general se utiliza la denominación inglesa SBM (Single Buoy Mooring System).

(2) Con carácter general se utiliza la denominación inglesa MBM (Multi Buoy Mooring System).

a) Con instalación especial

Determinados graneles pueden o es conveniente que sean manipulados mediante el uso de instalaciones especiales, ya sean neumáticas o mecánicas, en las cuales el sistema de transporte de la mercancía es continuo entre el buque y los silos, explanadas o tinglados de almacenamiento, o viceversa. En estos casos, dado que no es necesario que los silos, explanadas o tinglados estén muy próximos a la línea de atraque, la configuración física que suele ser más conveniente es el pantalán continuo. Lo anterior no impide que en algunas situaciones puedan utilizarse pantalanes discontinuos de solución mixta que dispongan de plataformas auxiliares anejas a la línea de atraque con una longitud similar a la eslora del buque.

Como elementos de carga-descarga se pueden utilizar medios externos al buque, como brazos de carga-descarga neumáticos, cargadores-descargadores continuos, etc., o elementos propios del buque, como sistemas de bombeo e impulsión. Como elementos de transporte se suelen utilizar tuberías, cintas transportadoras, tornillos sin fin, etc.

En el caso de graneles especialmente pulverulentos (alúmina, cemento,...) o si el volumen global anual de los tráficos con sistemas de manipulación compatible permite una inversión inicial importante para la construcción de una terminal especializada, las instalaciones especiales son particularmente aconsejadas.

b) Sin instalación especial

En el caso de sistemas de carga-descarga discontinuos (grúas en buque, grúas fijas y móviles en el atraque equipadas con cuchara) sin transferencia directa entre el buque y los modos de transporte terrestre, la solución más recomendable será la de muelle al necesitar áreas de almacenamiento provisional (ya sean cubiertas o descubiertas) próximas a la línea de atraque.

En el caso de transferencia directa de la mercancía entre el buque y los modos de transporte terrestre, en general la configuración más conveniente será la de pantalán continuo.

2.3.1.3 Para mercancía general**a) Carga convencional**

Para carga convencional la configuración física más conveniente es el muelle dado que es necesario que la carga y la descarga se puedan efectuar a lo largo de toda la eslora del buque y que, aunque es posible su transferencia directa desde el buque a otros modos de transporte, es conveniente que exista una explanada adyacente a la línea de atraque en donde se pueda almacenar provisionalmente la mercancía para su posterior transporte terrestre o marítimo, ya que la distancia de la explanada a la línea de atraque repercute directamente en los rendimientos de la misma.

b) Contenedores

Al igual que para carga convencional, la configuración física del atraque más conveniente es el muelle, porque es necesario que las operaciones de carga y descarga de contenedores se puedan efectuar a lo largo de toda la eslora del buque. En este caso es imprescindible disponer de una explanada adyacente a la línea de atraque ya que el transporte hasta o desde el área de almacenamiento es muy costoso.

c) Ro-ro

En los atraques ro-ro, las operaciones de carga y descarga se realizan mediante medios rodantes, propios o no, en puntos perfectamente definidos del buque, denominados portalones, pudiendo tener éste de uno a tres, normalmente localizados en popa, en proa, cercanos a éstas o en un lateral. Dado que son necesarias rampas, situadas generalmente en localizaciones fijas (tacones ro-ro), y que, en general, no es necesario que el área de tránsito esté completamente unida a la línea de atraque, la configuración física del atraque que suele ser más conveniente es el pantalán discontinuo con estructuras auxiliares de atraque y amarre: duques de alba, etc.

No obstante, en algunos casos los buques no son totalmente ro-ro, cargando o descargando parte de la carga por elevación (ro-lo). Cuando se considere que en la composición de la flota se puedan producir estos casos, con objeto de dotar al atraque de la mayor flexibilidad operacional es conveniente adoptar la configuración de muelle.

También para algunos casos en los que se dan elevados volúmenes de carga rodada homogénea (por ejemplo automóviles en régimen de mercancía), la necesidad de alcanzar altos rendimientos en los procesos de carga y descarga hace conveniente que la distancia entre la línea de atraque y la explanada de almacenamiento provisional sea la menor posible. En estos casos también puede ser más recomendable la configuración de muelle.

d) Ferris

Los buques ferris pueden transportar tanto pasajeros y vehículos en régimen de pasaje como mercancía cuya carga y descarga se hace fundamentalmente por medios rodantes, aunque también en algunos casos parte de la misma puede hacerse por elevación.

Para este tipo de tráfico son aplicables los criterios definidos para el tráfico ro-ro, complementados con las exigencias derivadas de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros, las cuales se realizan normalmente por puertas localizadas en el costado del buque, a través de pasarelas fijas o móviles que cumplen también la misión de separar el tráfico peatonal del rodado. Por estas razones es imprescindible que la longitud del atraque sea del orden de la eslora del buque, por lo que las configuraciones del atraque más convenientes suelen ser:

- ◆ Pantalanes continuos.
- ◆ Muelles.

La elección entre las dos soluciones depende principalmente de si se considera o no significativa la proporción de manipulaciones de mercancías por elevación o de la flexibilidad operativa que se le quiera dar al atraque para hacer frente a todas las posibilidades. En este último caso la configuración más adecuada sería el muelle.

e) Multipropósito

Las obras de atraque multipropósito suelen considerarse cuando el volumen de tráfico u otras limitaciones locales, bien de disponibilidad de espacios o bien operativas, no permiten asignar atraques específicos a cada tipo de mercancía.

Aunque es recomendable desde el punto de vista de la explotación que los atraques multipropósito se consideren únicamente para los diferentes tipos de mercancía general (ro-ro, contenedores y convencional), en algunos casos no es descartable que también se incluyan graneles sólidos. En las obras de atraque multipropósito es necesaria la máxima flexibilidad operativa, por lo que la configuración de atraque más conveniente es el muelle.

2.3.1.4 Para pasajeros

a) Ferris

Para este tráfico son de aplicación las recomendaciones señaladas en el apartado 2.3.1.3. d)

b) Cruceros y otras embarcaciones de pasajeros

Estos buques transportan únicamente pasajeros, los cuales realizan las operaciones de embarque y desembarque a través de puertas situadas a lo largo de todo el costado del buque. En estos casos, en los

que además son también importantes las operaciones de avituallamiento y la necesidad de controlar los movimientos de este tipo de buques en el atraque con una gran superficie expuesta al viento, es conveniente que la longitud del atraque sea del orden de la eslora del buque, aunque no es necesario que exista una explanada adyacente a la línea de atraque al no afectar a la calidad del servicio.

Por estas razones, la configuración del atraque más conveniente suele ser la de pantalán continuo.

2.3.2 Obras de atraque de uso pesquero

Las obras de atraque de uso pesquero deben responder tanto a las necesidades de descarga del pescado fresco y su transferencia a lonja o a los modos de transporte terrestre como a las asociadas con estancias más o menos prolongadas y a las necesidades de avituallamiento (hielo, combustible,...). Una particularidad adicional de este tráfico es que suele estar formado por una flota de características muy poco homogéneas que llega al atraque de forma masiva y concentrada en cortos espacios de tiempo.

Por dichas razones, las soluciones continuas son las más convenientes, tanto en la configuración de pantalán como en la de muelle, aunque la solución de pantalán es, en general, la más recomendable para estancias, avituallamiento y descarga de pescado por el menor coste de inversión, por dar lugar a un mayor aprovechamiento del espacio disponible y por no ser imprescindible para la calidad del servicio disponer de una explanada adyacente a la línea de atraque.

No obstante, cuando está prevista la transferencia de la descarga a lonja o frigorífico es más recomendable la solución muelle al ser necesaria por criterios operativos la máxima proximidad de la lonja al punto de descarga.

2.3.3 Obras de atraque de uso náutico-deportivo

Las obras de atraque para uso náutico-deportivo, yates y megayates, deben fundamentalmente garantizar una permanencia segura de los barcos en puerto, facilitando la accesibilidad de sus usuarios. El principal condicionante es que la configuración física del atraque debe permitir el máximo aprovechamiento del espacio disponible para flotas de características muy poco homogéneas.

Por dichas razones, la tipología más conveniente es el pantalán continuo si permanecen atracadas o los campos de boyas en las áreas de fondeo.

2.3.4 Obras de atraque de uso industrial

En general, las obras de atraque de uso industrial específico y en especial las dedicadas a la construcción y reparación de buques o de otros elementos (p.ej. plataformas offshore) deben permitir la máxima flexibilidad operativa y disponer de amplios espacios adyacentes a la línea de atraque donde almacenar piezas, equipos y productos que permitan desarrollar los trabajos a flote o prepararlos en seco. Por estas razones, la configuración más conveniente para estos usos suele ser el muelle.

Por otra parte, cuando la función de la obra de atraque de uso industrial radica en la recepción o salida de materias necesarias para los procesos industriales o de productos elaborados, las configuraciones más convenientes coincidirán con las correspondientes establecidas para el uso comercial equivalente.

2.3.5 Obras de atraque de uso militar

Las obras de atraque de uso militar suelen tener que permitir una amplia variedad de funciones tanto en lo que respecta al embarque y desembarque de pasajeros y vehículos, como a las asociadas a las operaciones de avituallamiento, municionamiento y reparación, las cuales deben poder realizarse a lo largo de toda la eslora del buque.

Por dichas razones, en general son convenientes configuraciones continuas como pantalanes y muelles, aunque en la mayor parte de los casos al no ser imprescindible disponer de una explanada adyacente a la línea de atraque la solución de pantalán puede ser suficiente.

En la tabla 2.3.1 se resumen simplificada mente las configuraciones físicas del atraque que suelen ser más convenientes con carácter general en función del tipo de tráfico manipulado, una vez tomados en consideración los criterios más relevantes para cada caso.

Tabla 2.3.1. Configuraciones físicas del atraque que suelen ser más convenientes en función del tipo de tráfico

Tipo de mercancía		Sistema de manipulación de mercancías	Configuración física del atraque	
USO COMERCIAL	GRANELES LÍQUIDOS	Productos Petrolíferos y químicos	MONOBOYA	
			CAMPO DE BOYAS	
			PANTALÁN DISCONTINUO	
		Gases Licuados	Brazos de carga/descarga+tubería	PANTALÁN DISCONTINUO
	GRANELES SÓLIDOS	Con instalación especial	Sistemas continuos	PANTALÁN CONTINUO O DISCONTINUO
		Sin instalación especial	Sistemas discontinuos	MUELLE
	MERCANCÍA GENERAL	Carga Convencional	Sistemas discontinuos por elevación	MUELLE
		Contenedores	Sistemas discontinuos por elevación	MUELLE
		Ro-ro	Por medios rodantes	PANTALÁN DISCONTINUO
			Parte por medios rodantes y parte por elevación	MUELLE
		Ferris	Por medios rodantes	PANTALÁN CONTINUO
			Parte por medios rodantes y parte por elevación	MUELLE
		Multipropósito	Medios rodantes+elevación	MUELLE
	PASAJEROS	Ferris	Por medios rodantes	PANTALÁN CONTINUO
			Parte por medios rodantes y parte por elevación	MUELLE
Cruceros y otras embarcaciones de pasajeros			PANTALÁN CONTINUO	
USO PESQUERO	PESCA	Sistemas discontinuos por elevación	PANTALÁN CONTINUO	
			MUELLE	
USO NÁUTICO-DEPORTIVO			PANTALÁN CONTINUO	
USO INDUSTRIAL			MUELLE	
USO MILITAR			PANTALÁN CONTINUO	

2.4 CONCEPCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO GENERAL

2.4.1 Partes y elementos de una obra de atraque y amarre

Las obras de atraque y amarre pueden dividirse en elementos o partes a los efectos de sistematizar su clasificación tipológica y establecer elementos de comparación entre tipologías, así como facilitar los procesos de dimensionamiento y de verificación de la seguridad, la funcionalidad y la operatividad de las mismas. Con carácter general podrán definirse las siguientes partes:

- ◆ **Cimentación:** Es la parte de la obra encargada de transmitir al terreno las cargas de la estructura.
- ◆ **Estructura:** Es el elemento o conjunto de elementos cuya misión fundamental es conservar la forma de la misma haciendo frente a las acciones actuantes y transmitiéndolas a la cimentación.
- ◆ **Superestructura:** Es el elemento destinado, en su caso, a solidarizar por la parte superior al conjunto de tramos estructurales y a ofrecer una línea de atraque continua, así como a permitir la transmisión y el reparto de las acciones de uso y explotación sobre la estructura resistente. Por otra parte, permite también corregir los defectos constructivos de alineación y desnivel entre tramos estructurales.
- ◆ **Relleno:** Es el material de préstamo que se coloca en el trasdós de la estructura para crear una explanada adyacente.
- ◆ **Elementos de uso y explotación:** son aquellos elementos auxiliares cuya función es posibilitar el uso y explotación de la obra de atraque y amarre de acuerdo con los requerimientos operativos exigidos: Los más importantes son los siguientes:
 - *Vigas carriles:* son aquellos elementos estructurales sobre los que discurren los equipos de manipulación de movilidad restringida, cuando no forman parte directa de la estructura o superestructura de la obra de atraque.
 - *Defensas:* son elementos flexibles situados generalmente en la superestructura que absorben por deformación parte o la casi totalidad de la energía cinética que se desarrolla durante el atraque, limitando los esfuerzos transmitidos tanto a la obra como al casco del buque. A su vez, el sistema de defensas, en combinación con el sistema de amarre sometido a tensión, puede utilizarse para disminuir los movimientos del buque atracado.
 - *Puntos de amarre:* son elementos situados sobre la superestructura (bolardos, bitas y ganchos) que permiten configurar el sistema de amarre del buque atracado, cuya función principal es limitar los movimientos del buque producidos por los agentes del medio físico y por algunos agentes operativos durante su permanencia en el atraque, transmitiendo los esfuerzos que se producen a la estructura resistente.
 - *Rampa ro-ro:* es un plano inclinado fijo o móvil cuya función principal es permitir la carga/descarga de los buques por medios rodantes, limitando las pendientes entre el buque y el muelle a valores admisibles.
 - *Galerías/Canaletas:* Son aligeramientos cerrados/abiertos que se disponen en la superestructura para acoger las redes técnicas: abastecimiento de agua, electricidad, alumbrado, contraincendios, comunicaciones, etc.
 - *Pavimento:* Capa superior del firme o estructura resistente dispuesta sobre la explanada para soportar el paso de vehículos y equipos de manipulación de mercancías.

2.4.2 Clasificación de las obras de atraque y amarre en función de la tipología estructural de sus partes

En las figuras 2.4.1 a 2.4.9 se describen brevemente algunas de las secciones tipo de obras de atraque y amarre más significativas. Se diferencian entre ellas, principalmente por las características de cada una de las partes en las que se dividen y, en relación con esto, por la forma de resistir las acciones y de transmitir al terreno los esfuerzos producidos. En función de la tipología estructural de cada una de las partes y elementos en los que pueden dividirse las obras de atraque y amarre se clasifican en:

A. FIJAS CERRADAS

A.1. Obras de gravedad

- De bloques
- De hormigón sumergido
- De cajones
- Otros tipos de obras de gravedad: en L, entramados,...

- A.2. Obras de Pantallas
 - De pantallas sin plataforma superior
 - De pantallas con plataforma superior
- A.3. Obras de recintos de tablestacas

B. FIJAS ABIERTAS

- B.1. De pilotes
- B.2. De pilas
- B.3. Otras

C. FLOTANTES

- C.1. Boyas
- C.2. Pontonas o pantalanés
- C.3. Cajones
- C.4. Estaciones de transferencia

2.4.2.1 Obras fijas cerradas

Las obras fijas masivas o cerradas son aquellas en las que la parte estructural conforma un paramento continuo vertical o cuasivertical de la línea de atraque desde la superestructura a la cimentación. Aunque en general no permiten el flujo importante de agua a través de ellas, algunas veces este paramento puede disponer de huecos con objeto de reducir la posibilidad de reflexiones debidas a la acción del oleaje.

En función de la forma en que la estructura resiste las acciones y las transmite al terreno de cimentación, se dividen en:

◆ **Obras de Gravedad**

En las obras de gravedad, la estructura resiste las acciones debidas a las cargas de uso y explotación y, en su caso, al relleno del trasdós, mediante su propio peso, transmitiéndolas al cimiento normalmente a través de una banqueta de cimentación de escollera, todo uno u otro material granular.

Debido al modo de su funcionamiento resistente, la concepción de este tipo de obras exige disponer tanto de pesos importantes como de superficie considerable en la cimentación que permitan la movilización de una mayor resistencia por rozamiento en el contacto estructura-cimiento para aumentar la resistencia al deslizamiento, reducir las presiones de contacto sobre el terreno para aumentar la resistencia al hundimiento y centrar el punto de aplicación de la resultante de las acciones para aumentar la resistencia al vuelco. Por estas razones, este tipo de estructuras requiere suelos de cimentación de elevada capacidad portante, localizados en niveles accesibles. Estos suelos pueden ser tanto naturales como mejorados o procedentes de una sustitución.

En función de las características de la estructura, las obras de gravedad se dividen en:

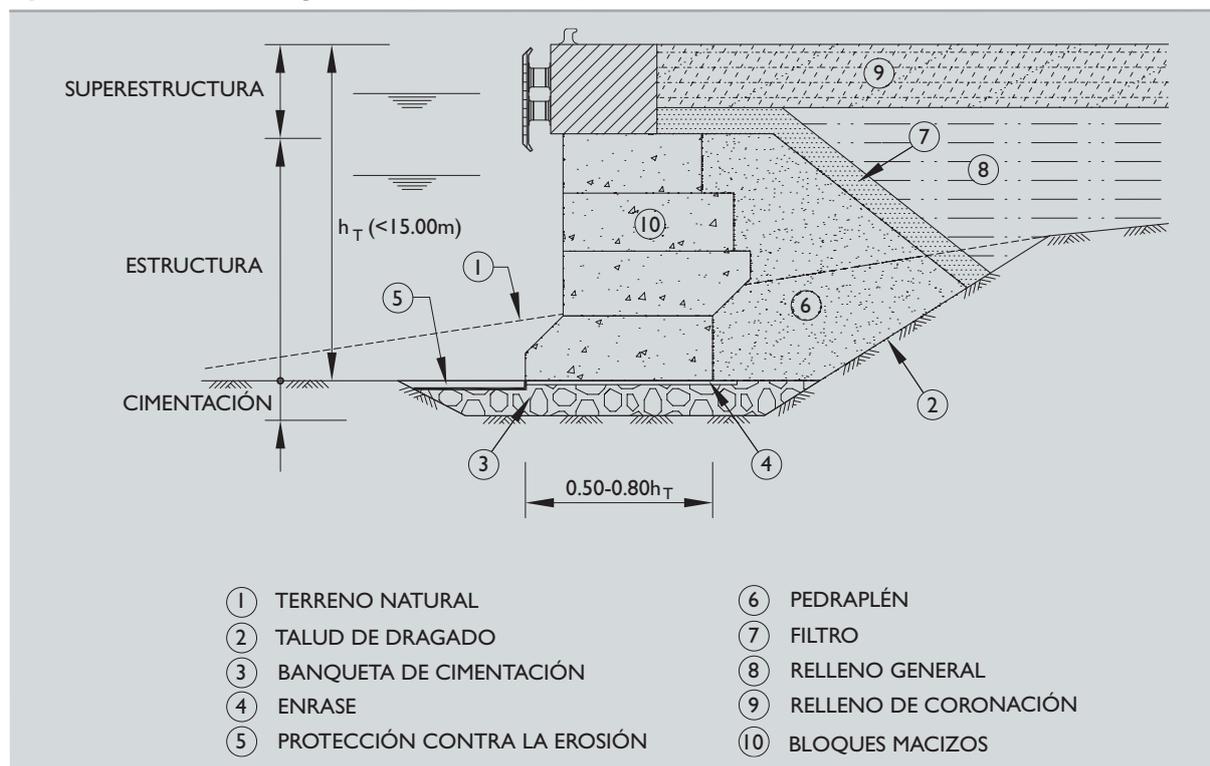
■ **De bloques**

La estructura resistente está formada por bloques de materiales pétreos o prefabricados de hormigón. Los bloques pueden ser macizos o huecos, rellenándose posteriormente con un material de préstamo granular o con hormigón. En general son paralelepípedos, aunque a veces se construyen con planos inclinados o achaflanados en las caras de trasdós o intradós, con el objeto de reducir las presiones, o de centrar la resultante. Debido a los condicionantes impuestos por el proceso constructivo, los pesos de los bloques prefabricados suelen ser los máximos que permitan los medios disponibles para su puesta en obra, aunque son usuales pesos comprendidos entre 150 y 2000 kN.

La capacidad resistente radica en la movilización del rozamiento entre bloques, los cuales pueden o no estar solidarizados entre sí.

Una sección tipo de esta obra de atraque se recoge en la figura 2.4.1. La geometría de la sección puede ser muy variada, pero en general puede asimilarse a formas rectangulares o trapezoidales en las que la base es del orden del 50 al 80% de la altura. Para bloques intermedios, apoyados en otro bloque inferior, la relación base/altura anterior suele estar alrededor del 50% por razones de estabilidad. La anchura de coronación depende de la altura de la superestructura y de los elementos auxiliares a disponer sobre ella; los valores más usuales oscilan entre 1 y 4 m.

Figura 2.4.1. Obra de atraque de bloques. Sección tipo



El paramento de atraque es generalmente vertical, aunque la presencia de la defensa permite avanzar la base del muro entre 0,5 y 1,0 m, inclinando ligeramente el paramento o haciendo sobresalir el bloque inferior. Esta disposición mejora la resistencia al vuelco y al hundimiento, al centrar el punto de aplicación de la resultante sobre la base de la cimentación.

En el caso de que se disponga un relleno, el paramento del trasdós puede ser vertical, inclinado o escalonado. Los escalonados en el sentido de reducción de la anchura aprovechan el peso del trasdós sobre el escalón y por lo tanto reducen el volumen de hormigón. A veces, y principalmente por razones constructivas, el bloque de la segunda hilada inferior es el mismo de la base colocado del revés, como en la figura 2.4.1, lo que favorece el aprovechamiento del peso del relleno y el centrado de la resultante. Esta tipología estructural suele ser adecuada para alturas desde coronación a cimientos inferiores a 15 m o en obras de pequeña longitud por requerir menor inversión inicial.

■ De hormigón sumergido

La construcción de este tipo de muelles se lleva a cabo bajo el agua, casi en su totalidad, con procedimientos de hormigón sumergido, es decir, bombeando un hormigón rico en cemento con el extremo del tubo embutido en la masa de la zona a hormigonar para que, al expandirse, se evite al máximo el lavado del cemento y el árido fino.

Inicialmente, este sistema se aplicó a muelles de pequeña altura asentados sobre terreno resistente pero en la actualidad se utiliza también en terrenos de baja capacidad portante, sobre banquetas de escollera. Este tipo de muelles está indicado donde no exista espacio para la prefabricación de bloques o medios para su colocación.

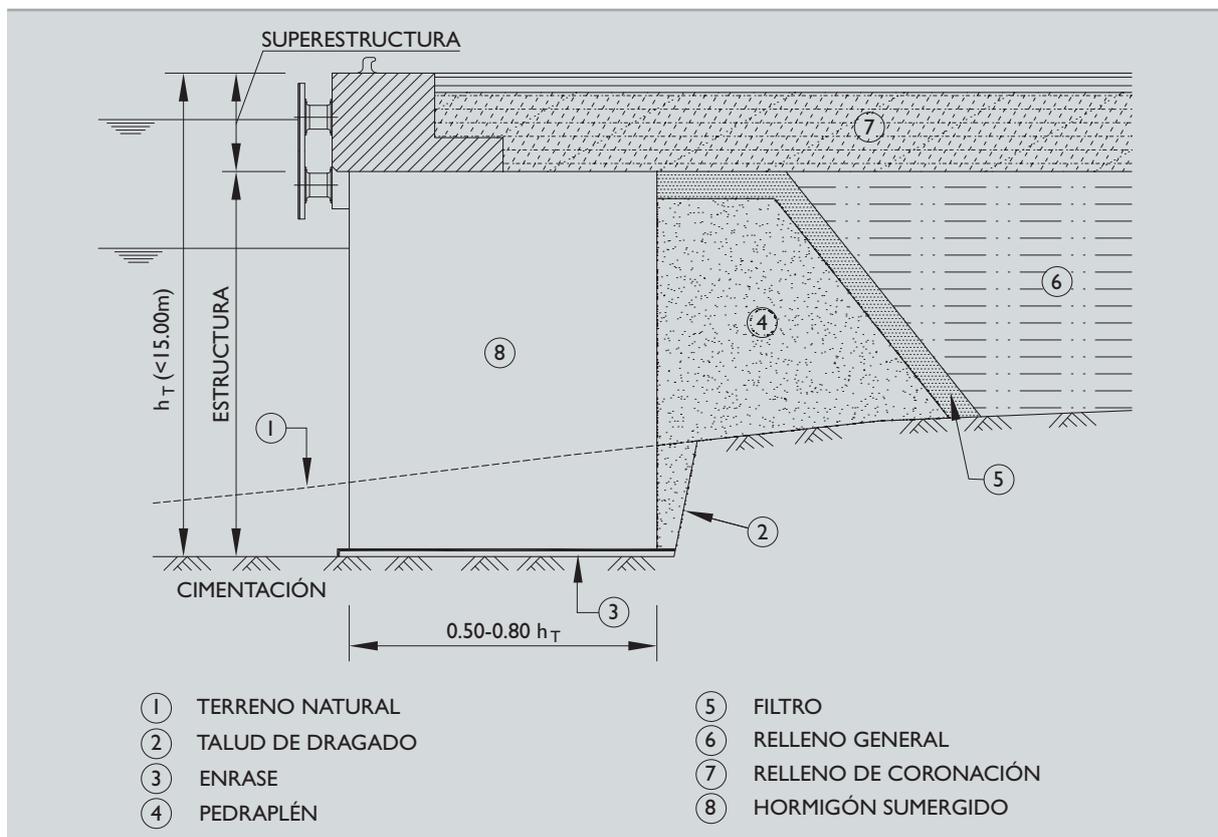
Normalmente, las dificultades planteadas por el encofrado obligan a adoptar secciones rectangulares con escasos resaltos o escalones (ver figura 2.4.2). El hormigonado puede realizarse por tongadas horizontales de 1,50 m de altura mínima, o en sección completa. En el primer caso, el encofrado se limita a las caras laterales de las diferentes tongadas, apoyados en la base o en la tongada inmediatamente anterior, siendo frecuente también utilizar bloques de hormigón como encofrado perdido. Estos bloques tienen entrantes para que penetren por ellos el hormigón y lograr así una mejor unión con el macizo hormigonado in situ. Las juntas horizontales se hacen con llaves para evitar el deslizamiento entre tongadas. Cuando se hormigona en sección completa, por módulos, el encofrado tiene forma de U en planta, acoplado cada puesta en el módulo anterior, dejando una llave vertical.

Como en el caso de las obras de bloques de hormigón, esta tipología estructural suele ser adecuada para alturas desde coronación a cimientos inferiores a 15 m o en obras de pequeña longitud por requerir menor inversión inicial. La relación anchura de la base/altura total se sitúa también entre 0.50 y 0.80 m.

■ De cajones

La estructura resistente está formada por cajones prefabricados que habitualmente son de hormigón armado (pudiendo ser alternativamente de hormigón pretensado, metálicos o mixtos), aligerados por celdas, construidos en seco o en diques flotantes y posteriormente remolcados, fondeados y rellenados con agua, material granular o con hormigón pobre.

Figura 2.4.2. Muelle de hormigón sumergido. Sección tipo

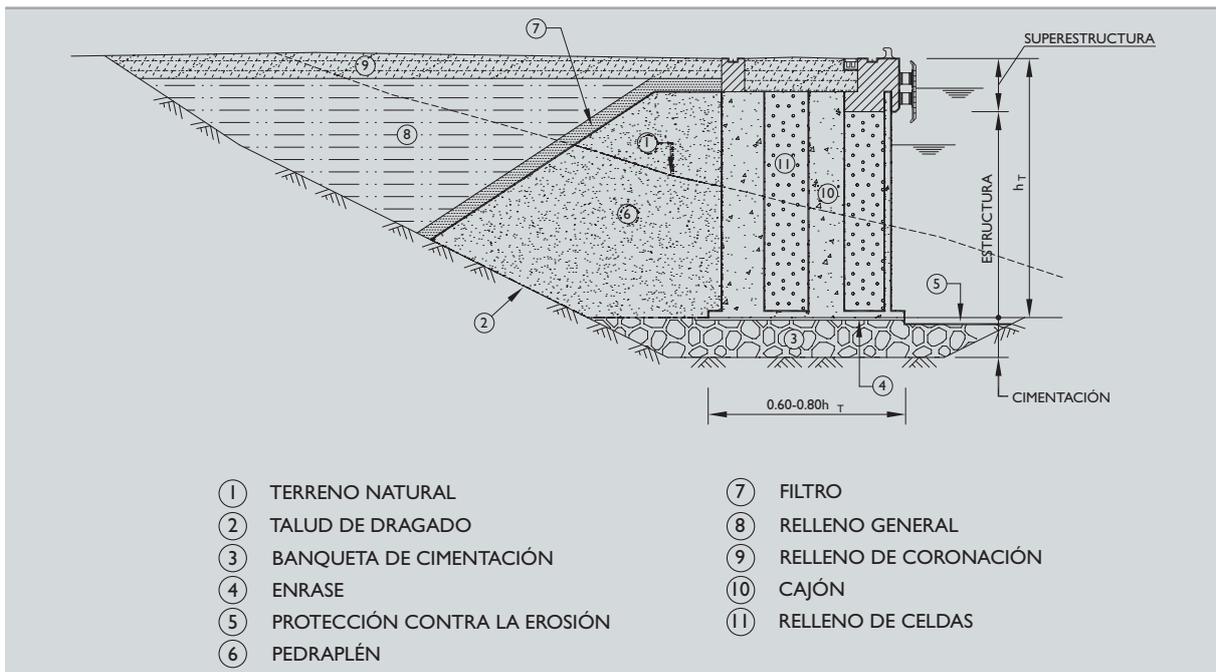


Los cajones flotantes pueden ser de diferentes formas y tamaños tanto en planta como en alzado, dependiendo de las condiciones y posibilidades constructivas locales. Las plantas y alzados rectangulares son los más usuales. En general, están constituidos por la solera, el fuste, con celdas normalmente rectangulares, cuadradas o circulares en toda su altura, y las zapatas o zonas voladas de la solera con respecto al fuste.

Una sección tipo de esta obra de atraque se recoge en la figura 2.4.3.

La anchura del fuste del cajón o manga viene fundamentalmente determinada por la capacidad resistente y la estabilidad necesaria de la obra de atraque, aunque también por la estabilidad naval del cajón o por condiciones operativas, como el caso en que se necesita recoger con el cajón la pata trasera de la grúa. Aumentando esta dimensión o rellenando únicamente las filas de celdas más cercanas al trasdós es posible reducir las presiones de contacto con el terreno. Para muelles, por razones de estabilidad, son usuales valores entre el 60% y el 80% de la altura, y no mayores de 25 m, aunque hay cajoneros capaces de fabricar cajones de más de 32 m de manga. La altura del fuste para el calado de proyecto viene determinada por condiciones y posibilidades constructivas y de estabilidad naval, considerando una cota de coronación que permita condiciones de trabajo aceptables tanto en el relleno de sus celdas como en la construcción de la superestructura. En España se han alcanzado alturas de hasta 38 m. En cuanto a la longitud del cajón depende también principalmente de las condiciones y posibilidades constructivas disponibles. Las dimensiones más usuales oscilan entre 25 y 40 m. En España se han alcanzado esloras de hasta 66 m.

Figura 2.4.3. Obra de atraque de cajones. Sección tipo



Otras características dimensionales generales de la sección son:

- Espesor de la solera y la zapata: 0.40-1.00 m
- Vuelo de las zapatas: 0.50-1.50 m
- Diámetro de celdas circulares: 2.50-3.50 m
- Lado de celdas rectangulares: 3.50-4.50 m
- Espesor de las paredes exteriores de celdas circulares: 0.20-0.40 m
- Espesor de las paredes exteriores de celdas rectangulares: 0.25-0.50 m
- Espesor de las paredes interiores de celdas circulares en el punto de tangencia: 0.15-0.25 m
- Espesor de las paredes interiores de celdas rectangulares: 0.20-0.30 m

Esta tipología estructural tiene un amplio rango de aplicación, siendo particularmente indicada desde calados de 10 m a calados muy superiores a los 20 m.

■ Otros tipos

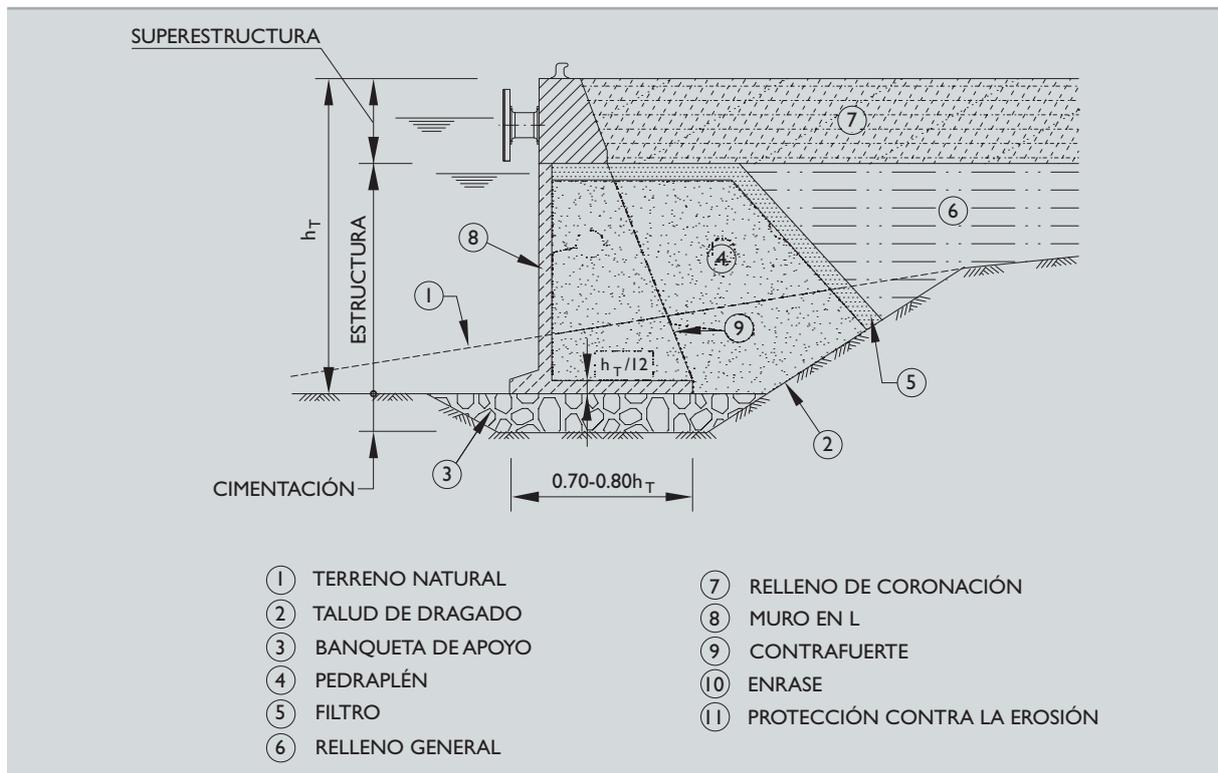
Dentro de esta tipología pueden citarse los cajones parcialmente sin solera, aunque no son muy utilizados. Estos mejoran la resistencia al deslizamiento en el contacto estructura-cimiento, aunque producen mayores presiones sobre el terreno de cimentación. En este caso pueden tratarse como recintos. Cuando existan terrenos muy poco competentes en las capas superiores, con espesores moderados sobre el terreno firme, este tipo de cajones puede hincarse, evitando las banquetas de cimentación y reduciendo los dragados necesarios (cajones indios).

Aunque no son muy utilizadas en España, existen otros tipos de obras de gravedad en las que la estructura resistente está formada por elementos en "L", entramados y otras disposiciones constructivas.

El funcionamiento resistente de las estructuras en "L" es similar a los muros de contención clásicos. A su vez, el funcionamiento y las características dimensionales generales son comparables con las de las obras de cajones, en las que se carece de pared de trasdós. En este caso, garantizar el mantenimiento en el tiempo del relleno del trasdós sobre la solera es clave para la estabilidad de la obra.

Los elementos en "L" suelen construirse "in situ" en seco o más comúnmente ser prefabricados, con alturas pequeñas de hasta 7 m. No obstante, con contrafuertes se han alcanzado alturas hasta 20 m. Su longitud varía entre 3 y 12 m, dependiendo de la disponibilidad local de los equipos de puesta en obra. Una sección tipo de esta obra de atraque se recoge en la figura 2.4.4.

Figura 2.4.4. Obra de atraque de elementos en "L". Sección tipo



◆ Obras de pantallas

En las obras de pantallas, la estructura transmite las acciones horizontales debidas al terreno y a la totalidad o a parte de las cargas de uso y explotación, mediante su empotramiento o apoyo en el terreno

de cimentación y la disposición de anclajes en el trasdós, lo que permite el equilibrio de los empujes generados por el terreno de cimentación y por el relleno a ambos lados de la pantalla, combinados con la acción (o reacción) de los anclajes.

La capacidad resistente de la estructura radica fundamentalmente en su capacidad de resistir los esfuerzos de flexión y cortante que se generan a lo largo de la misma.

Esta tipología está especialmente indicada en terrenos arenosos y limosos, se puede utilizar en terrenos cohesivos blandos y está contraindicada cuando el terreno está constituido por roca dura que impida la hincada o en terrenos arenosos con bolos que impidan alcanzar los empotramientos necesarios.

En función de que se disponga o no de elementos estructurales adicionales a la propia pantalla que transmitan directamente al terreno de cimentación parte de las cargas de uso y explotación, las obras de pantallas se dividen en:

■ **De pantallas sin plataforma superior de descarga**

La estructura resistente está constituida únicamente por una pantalla vertical o ligeramente inclinada, y por uno o varios anclajes que contribuyen a aumentar su rigidez y colaboran en su capacidad resistente.

La pantalla puede estar formada por tablestacas metálicas hincadas o por hormigón armado realizado “in situ”.

Las pantallas de tablestacas metálicas suelen estar formadas por perfiles simples en “U”, en “Z” o compuestos por elementos de mayor inercia (perfiles laminados en H, tubos metálicos,...) entre los que se intercalan tablestacas. La acción de los anclajes suele transmitirse a una viga de reparto que, en el caso de las pantallas de tablestacas, es habitualmente metálica y cuya misión es transmitir la fuerza de anclaje a las tablestacas individuales.

El sistema de anclaje suele ser pasivo, pudiendo consistir en barras o cables de acero unidos debidamente a la pantalla y a una estructura trasera de anclaje que puede consistir en otra pantalla más corta, en un “muerto” de hormigón, o en una placa vertical, horizontal ó inclinada. El muerto o la placa pueden estar simplemente apoyados en el terreno o cimentados sobre pilotes que proporcionan mayor capacidad de reacción.

Para desarrollar el anclaje pasivo se necesita una anchura de casi el 150% de la altura libre de la tablestaca. Los anclajes pasivos deben estar posicionados por encima del nivel medio del mar y dimensionados para evitar flexiones por los asientos del terreno.

No obstante lo anterior, el sistema de anclaje también puede ser activo. En este caso suele estar formado por cables de pretensado, barras de acero o micropilotes alojados en perforaciones y unidos en su parte final al terreno mediante bulbos inyectados de mortero o lechadas de cemento.

La superestructura está constituida por una viga de hormigón en cabeza capaz de repartir las acciones horizontales de uso y explotación que actúan en coronación a lo largo de una cierta longitud de la obra. No suele tener excesiva capacidad para resistir acciones verticales importantes, salvo que se dispongan elementos de transmisión de cargas de la superestructura a las tablestacas.

Generalmente esta tipología estructural suele ser adecuada para alturas libres alrededor de 10 m, aunque se pueden alcanzar hasta 20 m con tablestacas simples y hasta 30 m con tablestacas compuestas.

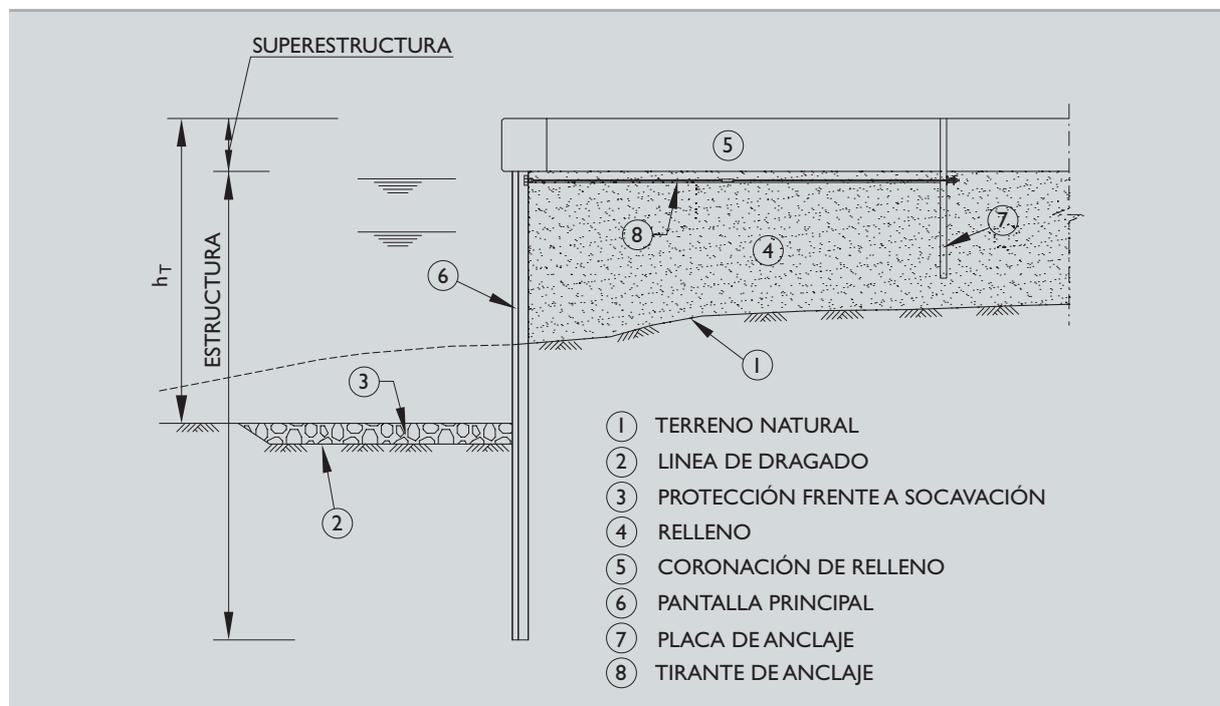
Las pantallas de hormigón armado suelen ser de sección rectangular, o en “T”, con espesores que generalmente oscilan entre 0.60 y 1.20 m. También pueden construirse pantallas con pilotes tangentes. El sistema de anclaje suele ser en la mayor parte de los casos activo, debido a su menor deformabilidad, aunque también pueden ser pasivos. Los sistemas de anclaje son similares a los descritos para las pantallas de tablestacas.

En muchos casos, la coronación de la propia pantalla de hormigón tiene funciones de superestructura, teniendo incluso capacidad para soportar cargas verticales importantes como las producidas por los equipos de manipulación de mercancías.

Este tipo de pantallas puede construirse prefabricadas (pilotes hincados próximos, perfiles machihembrados, etc.) u hormigonadas "in situ" mediante excavación previa del terreno, manteniendo estable la excavación a base de productos tixotrópicos como la bentonita y posterior hormigonado, por lo que debe realizarse desde terreno seco, pudiendo ser éste natural o un relleno provisional. Deberán extremarse al máximo las precauciones para conseguir los recubrimientos adecuados en toda la altura de la pantalla, especialmente en suelos blandos. Para esta última metodología constructiva es conveniente que el suelo no sea excesivamente permeable o presente huecos o cavidades importantes.

En función del espesor de la sección resistente adoptado, esta tipología permite alturas libres superiores a los 20 m. Una sección tipo de esta tipología de obras de atraque se recoge en la figura 2.4.5.

Figura 2.4.5. Obra de atraque de pantallas sin plataforma superior de descarga. Sección tipo



■ De pantallas con plataforma superior de descarga

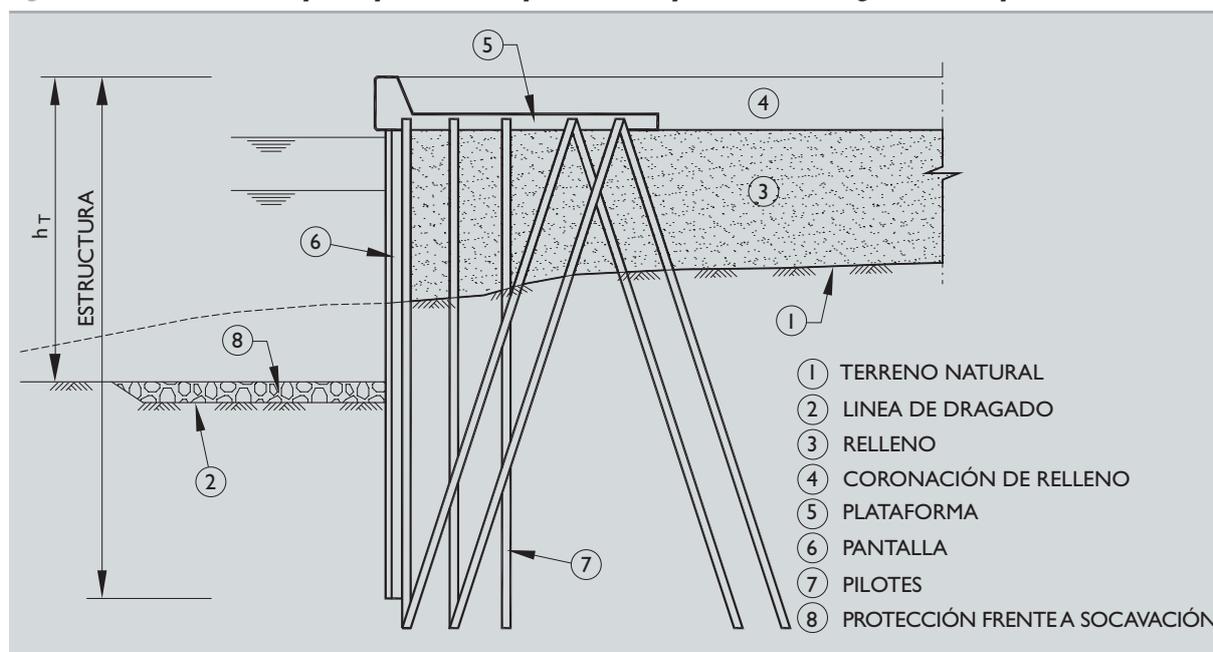
La estructura resistente es idéntica a la correspondiente a las pantallas sin plataforma superior, con la incorporación, en coronación de la pantalla, por encima del nivel de las aguas exteriores, de una plataforma de hormigón armado en el trasdós, sustentada en la propia pantalla y en varios pilotes verticales y/o inclinados.

La función principal de esta plataforma es disminuir los empujes del terreno de trasdós y transmitir directamente las cargas de uso y explotación a la cimentación sin incrementar los esfuerzos horizontales sobre la pantalla. Por esa razón puede ser conveniente utilizar esta tipología para pantallas con alturas libres altas y/o cuando las cargas verticales de uso y explotación son muy importantes, cuando los perfiles de tablestacas disponibles localmente son pequeños y, por tanto, no son capaces de resistir grandes esfuerzos de flexión, así como no se disponga de la anchura necesaria para el desarrollo de los empujes. Para ello, una referencia de la anchura de la plataforma puede ser la suficiente para que corte el plano de rotura del suelo del trasdós.

Las acciones horizontales de uso y explotación son transmitidas al terreno por la pantalla, los pilotes y, en su caso, por los anclajes.

Esta tipología de obra de atraque, que no ha sido utilizada prácticamente en España, suele ser adecuada para alturas libres entre 15 y 20 m. Una sección tipo de esta tipología de obra de atraque se recoge en la figura 2.4.6.

Figura 2.4.6. Obra de atraque de pantallas con plataforma superior de descarga. Sección tipo



◆ De recintos de tablestacas

La estructura resistente está formada por una fila de recintos formados por tablestacas metálicas, conectados entre sí, los cuales se pueden construir con varias configuraciones geométricas (Ver figura 2.4.7):

- Recintos con formas circulares, creando celdas independientes que después se unen en la parte delantera (y eventualmente, en la trasera) mediante arcos circulares contruidos con tablestacas planas.
- Celdas con diafragmas, de paredes transversales rectas y frontales curvas.
- Dos filas de tablestacas paralelas, arriostradas entre sí a distintos niveles y con uno ó varios recintos especialmente arriostrados que rigidicen la estructura.
- Otras variantes: trébol de cuatro hojas atirantadas según dos ejes, formas elípticas, formas de curvatura variable ...

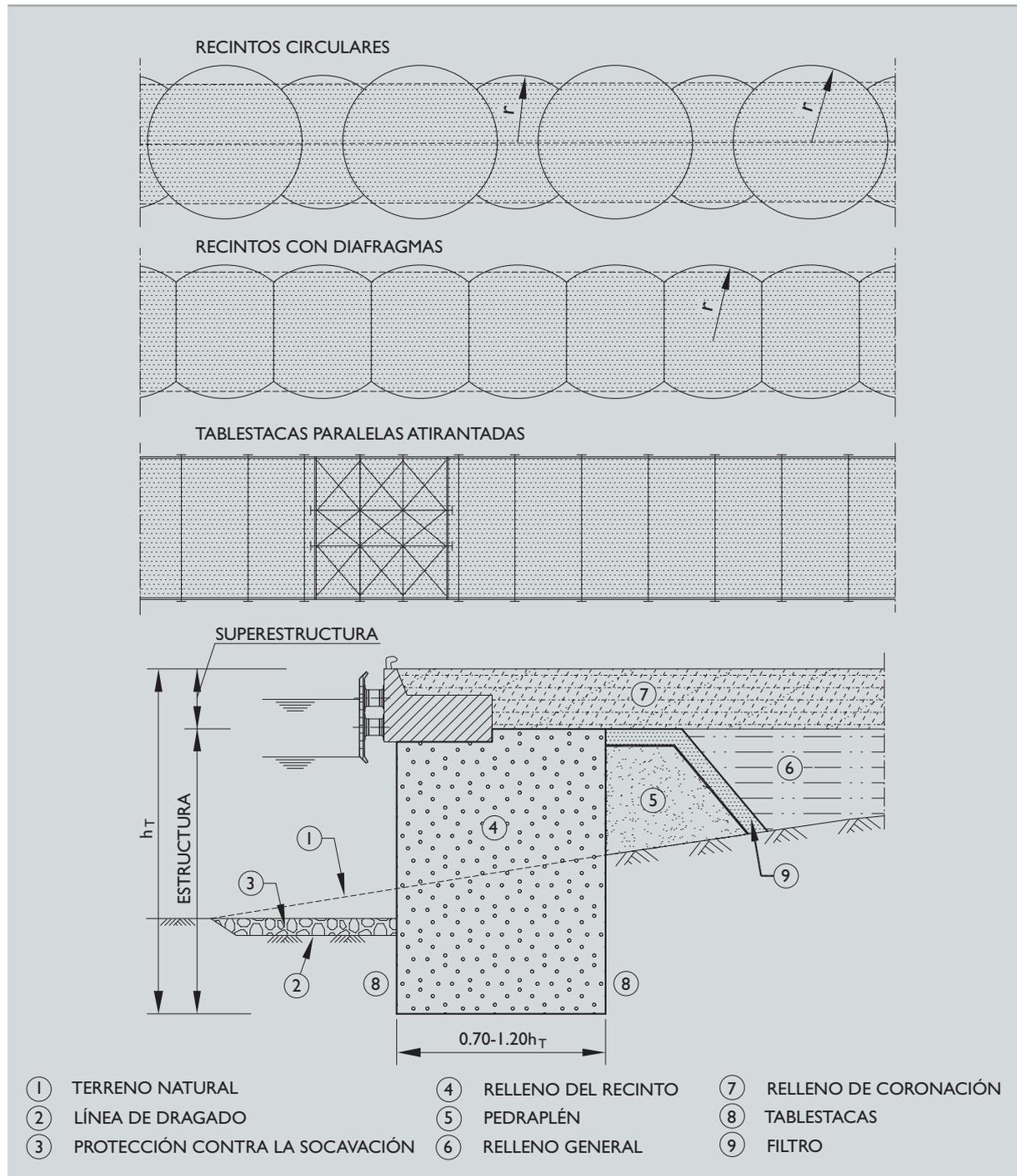
Dichos recintos se rellenan posteriormente de material granular.

La capacidad resistente de la estructura es aportada fundamentalmente por el relleno interno y por la propia interacción de los recintos de tablestacas con el relleno y con el terreno natural.

En general los recintos con formas circulares son los más utilizados. La ventaja de esta tipología estructural respecto a las otras con tablestacas radica en que las celdas son autoestables individualmente y se pueden hacer los rellenos de las celdas de manera independiente. Por ello están indicados en terrenos rocosos. Con los recintos de diafragmas han de hacerse los rellenos de manera simultánea con un cierto desfase admisible y ha de utilizarse un mayor número de tablestacas. Su posible ventaja estriba en menores esfuerzos en la tablestaca. Las otras variantes suelen utilizarse para grandes profundidades.

Una sección tipo de esta obra de atraque se recoge en la figura 2.4.7.

Figura 2.4.7. Obra de atraque de recintos de tablestacas. Sección tipo



Para alturas menores de 15 m. los diámetros de los recintos con formas circulares oscilan normalmente entre 10 y 20 m, con separaciones mínimas entre 1.00 y 2.00 m. En estos casos se utilizan tablestacas metálicas de 40 o 50 cm de ancho y espesores entre 9 y 13 mm, oscilando el radio de los arcos de unión entre 3.00 y 5.00 metros respectivamente.

La superestructura no se apoya únicamente en las tablestacas sino en el relleno interno, debiéndose comprobar la posibilidad de que se produzcan asientos importantes. Si es así, deberá cimentarse mediante pilotes a través del relleno.

Esta tipología estructural suele ser adecuada para alturas desde coronación a cimientos inferiores a 15 m. No obstante lo anterior, se han construido recintos con alturas superiores a los 20 m.

2.4.2.2 Obras fijas abiertas

Las obras fijas abiertas son aquéllas en las que la estructura está formada por una plataforma sustentada en pilotes o pilas, siendo el paramento que conforma la línea de atraque no continuo, permitiendo el paso del flujo del agua.

En el caso de que exista un relleno adyacente, la plataforma supone la prolongación de la coronación del relleno sobre el talud del mismo hasta que alcanza la línea de atraque.

Puede considerarse que en esta tipología la estructura integra los elementos de la superestructura propiamente dicha.

En función de la forma en que la estructura resiste las acciones y las transmite al terreno de cimentación se dividen en:

◆ Obras de pilotes

La estructura resistente está formada por una plataforma sustentada en pilotes verticales y/o inclinados y, en el caso de que exista un relleno adosado, puede complementarse con una estructura de contención de tierras y de unión con la plataforma en la coronación del talud. También pueden disponerse anclajes en la plataforma con el objeto de mejorar la capacidad resistente de la obra ante cargas horizontales.

La estructura transmite al terreno de cimentación todas las acciones de uso y explotación actuantes sobre el tablero por medio de los pilotes. Cuando todos los pilotes son verticales, están solicitados por esfuerzos axiales, cortantes y de flexión. En caso de disponer pilotes inclinados o verticales e inclinados, estarán solicitados fundamentalmente por axiales. Los pilotes deben empotrarse en el terreno resistente la longitud necesaria para que la transmisión de cargas pilote-terreno reúna las debidas condiciones de seguridad.

Los pilotes pueden ser de hormigón moldeado “in situ” o prefabricados hincados: módulos de pantalla, perfiles metálicos (tubulares o de perfil en H), de hormigón pretensado o mixtos (tubos rellenos de hormigón). Pueden alcanzar profundidades elevadas de hasta 50 m. Las dimensiones en planta, y por tanto la capacidad estructural de los pilotes debe estar en consonancia con la resistencia del terreno y con la profundidad alcanzada. En pilotes hormigonados “in situ” son usuales diámetros entre 0.6 y 2 m. La malla de su disposición en planta suele ser rectangular. La distancia entre pilotes depende de la magnitud y canalización de las cargas de explotación que actúan sobre el tablero, buscando una solución de equilibrio entre capacidad portante del tablero y de los pilotes. No suelen ser usuales separaciones entre ejes de pilotes mayores de 8 m. La longitud de los mismos depende del tipo de terreno, hasta alcanzar el nivel de profundidad que permita por punta y/o fuste resistir las acciones verticales transmitidas y, en su caso, movilizar las reacciones horizontales necesarias para resistir parte o la totalidad de las acciones horizontales.

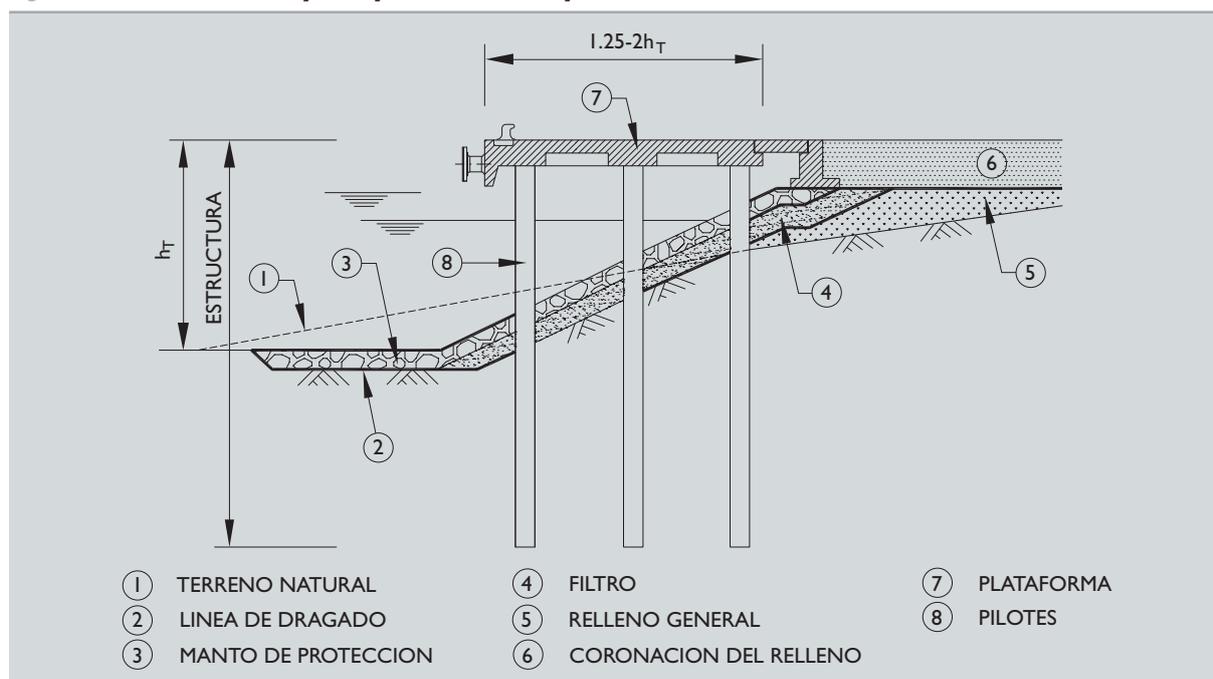
La plataforma es normalmente de hormigón armado, pudiendo estar constituida por partes prefabricadas y por partes hormigonadas “in situ”.

La contención del relleno en la coronación del talud puede hacerse con una solución de gravedad, con muros de hormigón prefabricados o construidos “in situ”, normalmente cimentados por encima del nivel medio del mar, o alternativamente puede utilizarse una solución de pantalla de tablestacas.

Es de especial relevancia la posibilidad de asientos diferenciales entre el trasdós flexible y la plataforma rígida, asientos que pueden dificultar la explotación del muelle por los necesarios recrecidos del pavimento del trasdós. Asimismo, es posible la rotura de pilotes por falsas maniobras de atraque, sobre todo con los bulbos de los buques, circunstancia a tener en cuenta en la conservación de las obras de esta tipología.

Una sección tipo de esta tipología se recoge en la figura 2.4.8.

Figura 2.4.8. Obra de atraque de pilotes. Sección tipo



Esta tipología de obra de atraque y amarre puede ser construida para todo calado y en prácticamente cualquier tipo de suelo. Las dificultades que pueden ofrecer ciertos niveles duros que hayan de atravesarse o el empotramiento en roca pueden resolverse con pilotes perforados y hormigonados "in situ". No obstante, su utilización es obligada en aquellos terrenos en los que el sustrato resistente está a una profundidad excesiva respecto del calado de proyecto.

No obstante lo anterior, cuando el sustrato resistente está a una gran profundidad, la estructura de pilotes puede llegar a ser muy flexible, generando movimientos que pueden ser incompatibles con las condiciones de explotación requeridas. En estos casos, así como cuando las cargas horizontales sean tan elevadas que no permitan un dimensionamiento razonable de la estructura, es recomendable ir a soluciones mixtas, separando la plataforma de los puntos de atraque y amarre utilizando duques de alba o bien, rigidizando la estructura mediante caballetes de pilotes inclinados.

El ingeniero deberá tener en cuenta las situaciones de "rozamiento negativo", es decir, aquellas en las que el asiento del terreno de la explanada es mayor que el de la cabeza de los pilotes. Dichas situaciones conducen a esfuerzos de compresión sobre los pilotes mayores que los debidos a las cargas transmitidas por la estructura.

◆ De pilas

La estructura resistente se diferencia de la de pilotes en que está formada por una plataforma apoyada en pilas, generalmente constituidas por estructuras de gravedad.

La resistencia de las cargas verticales y horizontales de uso y explotación y su transmisión a la cimentación se realiza a través de las pilas, mediante su propio peso y la resistencia al deslizamiento en el contacto estructura-cimiento. En general, la plataforma no se dimensiona para resistir las grandes acciones horizontales de atraque y amarre que se aplican directamente a las pilas.

Las pilas responderán a las características definidas para las obras de gravedad en el apartado 2.4.2.1 de esta Recomendación. Las pilas deben situarse a una separación adecuada a la capacidad resistente del tablero que las une, recomendándose que la cara inferior de las vigas integrantes del tablero esté situada por encima del nivel del mar en cualquier condición de marea. Por otra parte, en puertos comerciales, la separación entre pilas no será mayor que la máxima separación admisible entre defensas o puntos de amarre.

Dado que las pilas generalmente son obras de gravedad, esta tipología estructural requiere suelos de cimentación de elevada capacidad portante, localizados a niveles accesibles. Estos suelos pueden ser tanto naturales como mejorados o rellenos de sustitución. Se recomienda que los apoyos de los tableros sobre las pilas sean isostáticos, para absorber mejor los asientos diferenciales entre ellas.

Cuando la anchura de la estructura de un muelle de pilas permite el desarrollo del talud bajo los tableros, siendo éstos rectos o abovedados, el muelle se denomina tipo “claraboya”.

◆ Otras

Otro tipo de obras fijas abiertas es el de las estructuras metálicas rigidizadas en el plano horizontal mediante la disposición de elementos en celosía que se apoyan en el fondo mediante pilotes hincados. Son las llamadas celosías espaciales o “jackets”. Su uso más común es el de plataformas marinas de investigación o extracción de petróleo aunque también se han construido como obras de atraque y amarre.

2.4.2.3 Obras flotantes

Las obras flotantes son aquéllas en que la parte estructural se encuentra flotando, con posibilidad de movimientos verticales y/o horizontales. Los sistemas de control de la posición se materializan a través de diferentes dispositivos de amarre, anclados bien al terreno natural o bien a estructuras fijas, y elegidos en función de los requerimientos operativos necesarios y de las condiciones locales, tanto medioambientales (oleaje, mareas, corrientes, viento, ...) como de ubicación y espacio disponible. En función de las características de la estructura resistente las obras de atraque y amarre flotantes se dividen en:

◆ Boyas

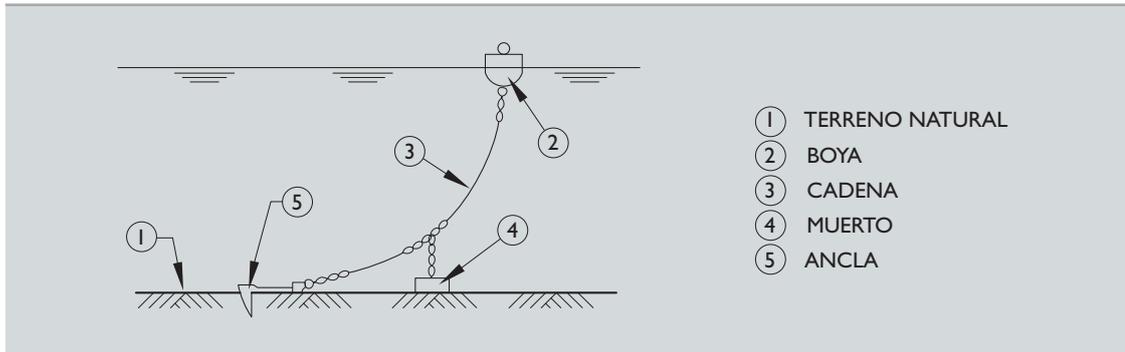
Las boyas son obras de amarre. Están formadas por una estructura resistente generalmente cilíndrica, de acero, fibra de vidrio o material plástico, conectada a un sistema de amarre constituido por una o varias líneas de amarre compuestas por elementos flexibles como cadenas, cables, gomas elásticas, etc., más o menos pretensionados, los cuales se fijan al terreno a través de un ancla, muerto o pilote en función de la magnitud de las tracciones que alcancen al punto de anclaje.

Las boyas resisten las acciones horizontales y verticales de amarre, mediante su transmisión al sistema de amarre y anclaje. Las boyas deben mantenerse sin sumergirse en todo momento, con suficiente reserva de flotabilidad cuando actúa el máximo tiro en la línea de amarre.

Una sección tipo de esta tipología se recoge en la figura 2.4.9.

◆ Pontonas o pantalanes

Las pontonas son obras de atraque y amarre para cargas de uso y explotación relacionadas con el atraque y amarre de embarcaciones deportivas o de recreo, de pesca, plataformas auxiliares para la carga y descarga de vehículos o tráfico ro-ro, etc.

Figura 2.4.9. Obra de atraque y amarre flotante. Boya. Sección tipo

Están formadas por estructuras con secciones tipo muy variables, generalmente de acero ó aluminio, aunque también puede usarse la fibra de vidrio, el plástico y el hormigón. El amarre se consigue generalmente mediante el guiado desde estructuras fijas como pilotes o duques de alba, al ser necesario por requerimientos operativos la máxima limitación de movimientos. En algunos casos el dispositivo de amarre se sustituye por líneas de amarre compuestas de cadenas, cables, etc.

En general este tipo de estructuras resiste las acciones horizontales de uso y explotación mediante su transmisión a los elementos de guiado y/o a los sistemas de amarre. Las cargas verticales son resistidas por la propia estructura, debiéndose comprobar la estabilidad naval de la misma.

◆ Cajones

En la actualidad ya se dispone de experiencias en la realización de obras de atraque y amarre flotantes para cargas horizontales de uso y explotación importantes, mediante cajones de acero o de hormigón armado y pretensado. Además de esta función principal cumplen otras como el estacionamiento de vehículos o el almacenamiento de embarcaciones ligeras. La limitación de movimientos exigida en estas estructuras por requerimientos operativos puede realizarse por medio de sistemas de amarre constituidos por varias líneas de amarre compuestas por elementos flexibles más o menos pretensionados, anclados al terreno, o bien mediante sistemas mixtos de amarre y apoyo en tierra mediante dispositivos articulados especiales.

Este tipo de estructuras resiste las acciones horizontales mediante su interacción dinámica con el medio, en función de sus dimensiones y mediante su transmisión al sistema de apoyo y amarre. También deberá comprobarse la estabilidad de la misma en las condiciones en que se sustenta.

Un ejemplo de este tipo de estructuras es el dique-muelle de La Condamine en Mónaco que se recoge en la figura 2.4.11.

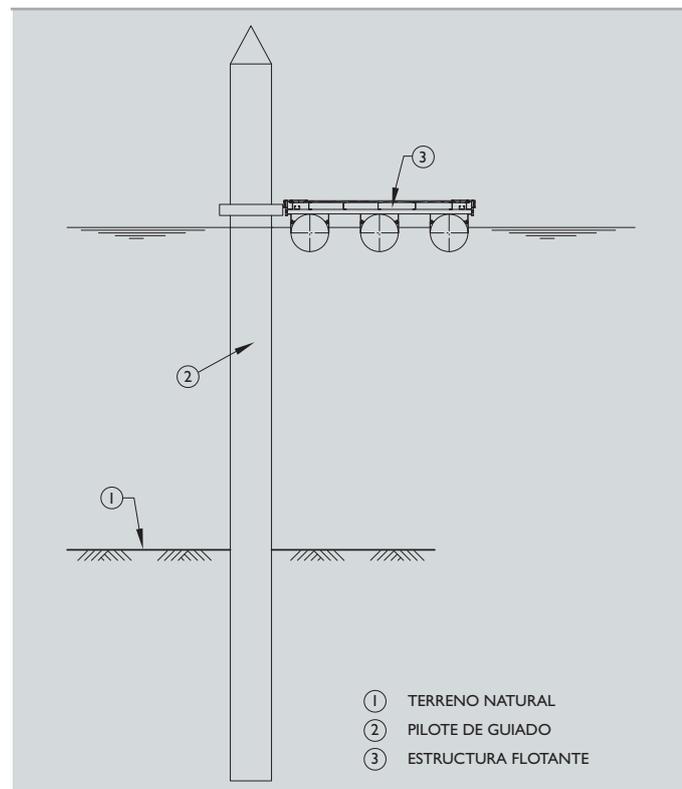
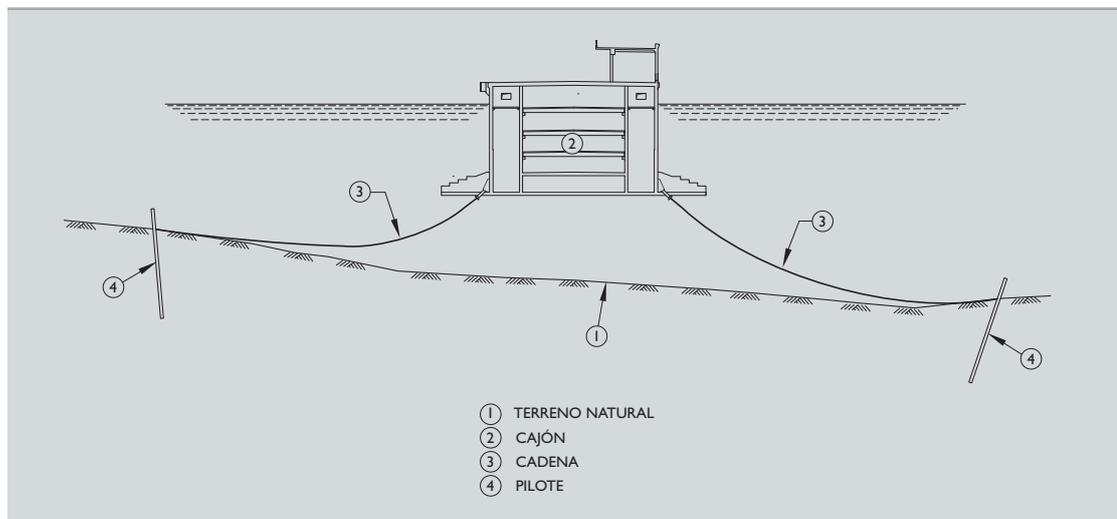
Figura 2.4.10. Obra de atraque y amarre flotante. Pantalán. Sección tipo

Figura 2.4.11. Ejemplo de obra de atraque y amarre flotante de cajones. Dique-muelle de la Condamine (Mónaco)



◆ Estaciones de transferencia

Se trata de buques u otro tipo de artefacto flotante, de hormigón o acero, situados permanentemente en una localización determinada, que realizan las funciones de muelle, almacenamiento y transbordo de mercancía, generalmente graneles sólidos y líquidos.

2.5 CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL

Para la elección de la tipología estructural más conveniente para una obra de atraque y amarre deberán analizarse las ventajas e inconvenientes y, por tanto, la factibilidad de cada una de ellas frente a los requerimientos de uso y explotación y a los condicionantes geotécnicos, morfológicos, climáticos, medioambientales, constructivos y de los materiales, sísmicos, de conservación y mantenimiento existentes localmente.

Como criterio general, deberá optarse por la tipología estructural más económica de entre las posibles que satisfagan los requerimientos y consideraciones de uso y explotación y medioambientales con las condiciones de seguridad exigidas, valorando su adaptabilidad a la posible evolución de los requerimientos de uso y explotación y a las posibilidades de ampliación de la instalación para hacer frente a la evolución de la demanda de tráfico durante la vida útil de la obra. Para dicha valoración económica deberán considerarse tanto los costes de construcción como los de mantenimiento y de reparación en la vida útil y, en su caso, los de desmantelamiento y recuperación ambiental.

Debido a las severas condiciones ambientales y climáticas en las que se encuentran las estructuras de atraque y amarre, en general suele ser mucho más económico y fiable adoptar tipologías estructurales robustas, simples y durables, que exijan el mínimo mantenimiento durante su vida útil y tengan fáciles procesos constructivos y, en su caso, de desmantelamiento y recuperación ambiental.

Las consideraciones más importantes a tener en cuenta para la elección de la tipología estructural se resumen en las siguientes:

2.5.1 Consideraciones de uso y explotación

Las consideraciones que hacen referencia al uso y explotación de la obra de atraque y amarre, asociadas fundamentalmente con el tipo de buque y de mercancía y con las necesidades de superficies y equipos de manipulación, así como con los niveles de operatividad exigidos dependientes fundamentalmente de su interacción con

los agentes oceanometeorológicos, condicionan fundamentalmente la elección de la configuración física del atraque y amarre (ver apartado 2.3) más que su tipología estructural.

No obstante lo anterior, la magnitud de las sobrecargas de uso y los equipos de manipulación de mercancías pueden tener una influencia directa en la elección de la tipología estructural al transmitir solicitaciones importantes y, en su caso canalizadas, que pueden exigir bien el sobredimensionamiento de la estructura resistente, bien la disposición de elementos estructurales complementarios como vigas flotantes o sobre pilotes cuando la estructura no es capaz de recibir o resistir directamente estos esfuerzos ó limitar las deformaciones. Estos elementos estructurales adicionales deberán tenerse en cuenta en la comparación de las diferentes soluciones.

Normalmente las soluciones de pilotes se diseñan de tal forma que las vías de grúa coincidan sobre una alineación de pilotes aprovechando la propia estructura. En estructuras de gravedad y en pantallas con plataforma de descarga, se debe tender a que las vías de grúas, siempre que sea posible, apoyen directamente sobre la estructura. Por el contrario, en soluciones de pantallas sin plataforma de descarga o estructuras de gravedad estrechas normalmente es imprescindible la disposición de los citados elementos estructurales adicionales.

Las máximas deformaciones verticales y horizontales admisibles en la estructura resistente en situación de servicio, compatibles con los equipos de manipulación y las operaciones portuarias en condiciones de seguridad, también pueden ser un factor relevante en la elección de la tipología estructural. En general, las obras fijas de pilotes satisfacen mejor los requerimientos de proyecto en este sentido. Después las de gravedad y, por último, las flotantes. En muelles trasdosados no hay que olvidar la posibilidad de asientos diferenciales estructural-explanada.

En referencia a la adaptabilidad a diferentes requerimientos de uso y explotación, las estructuras de gravedad presentan normalmente una mayor adaptabilidad a sobrecargas importantes y, por tanto, a posibles aumentos o cambios de distribución de las sobrecargas de uso y explotación que las pantallas, las estructuras pilotadas y las estructuras flotantes. Por el contrario, estas últimas son las que mejor se adaptan a la necesidad de aumentos de calado por evolución de las características de los buques.

2.5.2 Consideraciones geotécnicas

La calidad y homogeneidad del terreno de cimentación es un factor fundamental para la elección de la tipología estructural.

Las estructuras de gravedad y las abiertas de pilas requieren suelos de cimentación competentes, de elevada capacidad portante, tanto por condiciones de estabilidad como por asientos, localizados en niveles accesibles. Estos suelos pueden ser tanto naturales como mejorados o rellenos de sustitución.

Las estructuras de pantallas son aplicables a todo tipo de terrenos, salvo la existencia de rocas no alteradas a una profundidad tal que dificulte o impida alcanzar los empotramientos necesarios en el terreno. No obstante lo anterior suelen ser una solución competitiva especialmente en terrenos poco deformables formados por arenas y gravas. El terreno interviene como agente y como elemento resistente al que se transmiten las resultantes. Por ello, se requiere un buen conocimiento del terreno (Ver ROM 0.5)

Las estructuras de pilotes son aplicables a todo tipo de terreno. Su utilización es recomendable en aquellos terrenos en los que el substrato resistente está a una profundidad excesiva respecto del calado de proyecto. Con terrenos competentes situados en niveles accesibles esta solución puede ser competitiva respecto a las obras de gravedad a partir de calados importantes (> 25 m). No obstante, en estructuras de pilotes trasdosadas debe tenerse en cuenta que la anchura de la plataforma está relacionada con el talud de dragado: si el terreno es de mala calidad, el talud será muy tendido, lo cual puede exigir una gran anchura de tablero y generar situaciones de estabilidad comprometida en fase de construcción, perdiendo ventaja frente a otras tipologías.

En el caso de terrenos heterogéneos, donde pueden presentarse variaciones importantes en las condiciones de cimentación en distancias próximas habrá que juzgar en cada caso qué flexibilidad de adaptación presentan las diferentes tipologías. Las estructuras pilotadas, en un principio, pueden adaptarse bien a la variabilidad.

2.5.3 Consideraciones morfológicas

La combinación entre la disponibilidad de superficie en planta, las pendientes del terreno y los calados naturales existentes en la localización de la obra de atraque pueden condicionar su tipología estructural.

En general, las obras de gravedad construidas en calados importantes ocupan mucha superficie en planta debido a la necesidad de disponer de grandes banquetas de cimentación, por lo que no son adecuadas en zonas en las que no se disponga de suficiente espacio. En estos casos, las soluciones de pantallas, de recintos de tablas, de celosías espaciales, de pilotes o flotantes suelen ser más convenientes. Igualmente estas tres últimas soluciones suelen ser más convenientes cuando la pendiente del terreno natural es grande ya que las soluciones de gravedad en estas condiciones normalmente exigen la realización de dragados/rellenos muy importantes. Además, se pueden producir asientos diferenciales por tener una cimentación irregular.

Cuando la obra de atraque deba construirse en un lugar donde el fondo marino se encuentra mucho más alto que el calado requerido o incluso se encuentra por encima del nivel del mar, suelen ser más competitivas las estructuras tipo pantalla, al facilitarse enormemente la construcción ya que puede hacerse desde la superficie del terreno e incluso en seco. Además se evita tener que realizar dragados importantes que serían necesarios para estructuras de gravedad y el terreno natural puede quedar incorporado directamente al relleno de trasdós, reduciendo el volumen necesario del mismo. Por otra parte, si los calados naturales existentes son mucho mayores que los requeridos por el atraque pueden ser más convenientes las soluciones pilotadas, las celosías espaciales y las soluciones flotantes.

2.5.4 Consideraciones climáticas

El clima marítimo en el lugar del emplazamiento también puede condicionar la elección de la tipología estructural de la obra de atraque aunque, cuando los requerimientos operativos lo permitan, puede ser más conveniente actuar sobre la configuración física de la obra. En todo caso, si el clima marítimo es severo y la obra se encuentra expuesta, dada la magnitud de las cargas resultantes, será necesario recurrir a tipologías abiertas o flotantes.

Cuando existan problemas de agitación debido al abrigo parcial de la obra y/o reflexiones del oleaje que puedan limitar significativamente los niveles de operatividad de la obra o de la dársena son más adecuadas las estructuras abiertas o las de gravedad con huecos o cámaras al permitir reducir el oleaje reflejado. En todo caso, los proyectos de obras de atraque y amarre fijas deberán especificar la reflectividad de la obra en función de la frecuencia del oleaje y los de las obras flotantes, las características de oscilación del flotador en función del oleaje incidente.

A su vez, cuando la interacción de la estructura con el clima marítimo local (oleaje, corrientes, mareas,...) pueda tener consecuencias relevantes en la dinámica local de sedimentos (aumento de las erosiones o sedimentaciones) pueden ser también más convenientes las estructuras abiertas o flotantes al suponer una menor variación en los regímenes hidráulicos previos, reduciéndose las necesidades anuales para el mantenimiento de los calados o de disponer elementos adicionales de protección frente a erosiones respecto a otras soluciones masivas.

En zonas donde sea posible la formación de hielo en la superficie del mar esta circunstancia deberá tenerse en cuenta en la elección de la tipología. La acción del hielo sobre la estructura es una compresión, que suele representarse en términos de carga lineal aplicada en el nivel de agua más desfavorable. Con estas consideraciones, las tipologías flotantes son las menos recomendadas, seguidas de las obras fijas abiertas y cerradas, por este orden.

El clima marítimo también puede condicionar la tipología al tener una gran incidencia en el proceso constructivo, especialmente cuando se construye en aguas no abrigadas. En estos casos, la prefabricación presenta ven-

tajas claras por el máximo aprovechamiento que se consigue de las ventanas de trabajo climáticas. Las estructuras de gravedad con cajones flotantes requieren, en el momento del fondeo, la existencia de pequeñas alturas de ola y período ($H_s < 0,80$ m y $\bar{T} < 9$ s), por lo que puede incidir en los plazos de construcción en función de las ventanas climáticas disponibles a lo largo del año. La construcción de recintos también es muy sensible al oleaje hasta que el recinto esté completamente rellenado, aunque en este caso por razones de estabilidad.

2.5.5 Consideraciones medioambientales

La existencia de dificultades ambientales relacionadas con la apertura y explotación de canteras, con el transporte de materiales de construcción o con la remoción y vertido de productos de dragado puede condicionar la utilización de tipologías de gravedad o de pilas en aquellos casos en que éstas llevan asociadas grandes banquetas de cimentación y/o grandes volúmenes de dragado hasta alcanzar el nivel de cimentación competente. En estos casos las soluciones abiertas pilotadas, celosías espaciales, obras flotantes o masivas hincadas (cajones hincados, recintos de tablestacas) pueden ser soluciones mucho más convenientes.

Cuando el entorno no sea sensible a la remoción y vertido de productos de dragado, la elección de tipologías que permitan la reutilización de los dragados como rellenos es una buena alternativa ambiental para minimizar la necesidad de nuevos materiales de préstamo. Las estructuras masivas pueden ser convenientes en este caso.

Si el emplazamiento de la obra de atraque y amarre no está abrigado, deberá tenerse en cuenta el efecto que la reflexión y/o radiación del oleaje sobre el entorno, especialmente cuando existan playas de arena fina en su área de influencia, más sensibles a los cambios en las características del oleaje incidente.

Por último, siempre que sea posible, se elegirán tipologías que favorezcan la calidad del agua, la circulación y la no retención de elementos flotantes.

2.5.6 Consideraciones constructivas y de los materiales

La disponibilidad local de los materiales: escolleras y áridos, hormigones o aceros, y su coste económico, es un aspecto importante a considerar en la elección de la tipología estructural. En la actual situación europea, el elemento más significativo en lo que respecta a los materiales que puede condicionar la selección entre las distintas tipologías estructurales es la disponibilidad y cercanía de yacimientos o canteras explotables capaces de suministrar escolleras, materiales de préstamo para banquetas y rellenos y áridos para hormigones. La existencia de dificultades en este campo normalmente hará menos recomendables las soluciones de gravedad al necesitar mayores volúmenes de estos materiales. En el caso extremo de que no exista ningún recurso, se recurrirá a la máxima prefabricación y al transporte de los elementos prefabricados desde las zonas en las que existan dichos recursos disponibles.

La severidad del medio marino, las limitaciones existentes en la realización de trabajos sumergidos, así como las dificultades para el control submarino de las obras, recomiendan la consideración de métodos constructivos que permitan la realización de la mayor parte de los trabajos por encima del nivel de las aguas. En este sentido es conveniente recurrir a soluciones que puedan realizarse con el mayor número posible de piezas prefabricadas o en seco. (bloques, cajones flotantes, tablestacas, piezas en "L", pilotes, ...). Todas las tipologías estructurales son susceptibles de incorporar un alto grado de prefabricación, siendo la elección entre una u otra tipología dependiente en cada caso de la posibilidad de puesta en obra o de realización de cada elemento prefabricado en función de las características de capacidad de producción, de colocación y/o de sustentación de los equipos terrestres o flotantes que existan en el mercado y que puedan estar disponibles localmente. Además, los prefabricados pueden ser un sistema constructivo ventajoso en puertos con superficie muy limitada porque la fabricación y acopio puede hacerse en otro lugar, sin ocupación de áreas próximas al atraque.

En el límite, cuando la obra de atraque deba construirse en un lugar donde el fondo marino se encuentra mucho más alto que el calado requerido y/o no muy alejadas del terreno emergido, suelen ser competitivas las

soluciones de pantallas o pilotes realizadas totalmente desde la superficie del terreno en seco con métodos convencionales terrestres, incluso aunque sea necesaria la disposición de rellenos provisionales.

Con el objeto de evitar la reducción de la competencia entre empresas constructoras no es conveniente elegir soluciones que hagan imprescindible la utilización de equipos exclusivos o de muy reducida disponibilidad. Por el contrario son recomendables soluciones simples que permitan un alto grado de flexibilidad de aplicación de diferentes procedimientos constructivos que puedan adaptarse a la experiencia y recursos disponibles por cada una de las empresas constructoras.

En aquellos casos en que sea necesario reducir al máximo los plazos de ejecución, este aspecto puede condicionar decisivamente la elección de la tipología estructural, la cual dependerá fundamentalmente de circunstancias locales: disponibilidad de materiales y medios constructivos, así como de la experiencia y productividad asociada a los mismos.

2.5.7 Consideraciones sísmicas

En aquellas zonas donde los agentes sísmicos sean relevantes, la elección del tipo estructural puede estar condicionada por el comportamiento del terreno frente a sollicitaciones dinámicas, la interacción suelo-estructura y la respuesta estructural.

Si la obra dispone de trasdós, las tipologías fijas masivas quedarán penalizadas frente a las fijas abiertas y flotantes por los incrementos de empuje hidrodinámico del agua libre y los debidos al terreno, salvo que se dispongan materiales de trasdós suficientemente “permeables”, es decir, que permitan la liberación rápida de presiones intersticiales producidas por las sollicitaciones sísmicas. Además, deberá evaluarse el potencial de licuefacción de los terrenos presentes para prevenir este fenómeno que ocurre en determinados tipos de suelos, especialmente en arenas flojas saturadas en situación de no drenaje. La licuefacción es el estadio en que la presión efectiva del terreno se anula.

En obras fijas abiertas de pilotes es conveniente no utilizar en zonas sísmicas disposiciones con pilotes inclinados, dado que estas últimas disposiciones son más rígidas frente a cargas horizontales, dando lugar a roturas de difícil reparación en la unión de la cabeza del pilote con la plataforma superior por un alto incremento de los valores de los esfuerzos cortantes en esa zona, salvo que se dispongan conectores flexibles entre la cabeza de los pilotes y la plataforma con funciones “fusible” cuando las fuerzas horizontales superen un valor determinado.

En obras sin trasdós, las fuerzas de inercia gobernarán el diseño por lo que serán más ventajosas las obras flotantes y después las de gravedad.

2.5.8 Consideraciones de conservación y mantenimiento

Debido a la gran agresividad del medio marino, para la comparación entre las diferentes soluciones estructurales es importante tomar en consideración los costes necesarios para asegurar la durabilidad de la estructura durante su vida útil (mayores espesores o protecciones catódicas en las estructuras de acero, mayores recubrimientos y mayor calidad en los hormigones, etc.), o bien considerar los costes de mantenimiento y reparación que se prevean necesarios en dicho periodo.

Dadas las grandes dificultades e importantes costes que conllevan las operaciones de reparación y mantenimiento en el medio marino, como criterio general se recomienda que las estructuras tanto de hormigón como de acero, independientemente de la tipología estructural, se diseñen con una estrategia de durabilidad asociada con unas características y propiedades de los materiales que favorezcan su estabilidad frente a las acciones del medio ambiente y con medidas de proyecto y constructivas que les permitan soportar adecuadamente la degradación prevista sin necesidad de considerar operaciones de mantenimiento o de reparación excesivas o difíciles. Además deben fomentarse y aplicarse las actividades de inspección necesarias para que pueda llevarse a cabo el seguimiento de la efectividad de la estrategia adoptada y la intervención, en su caso.

La estrategia de durabilidad debe considerar, al menos, los siguientes aspectos:

- ◆ Para estructuras de hormigón:
 - Selección de formas estructurales adecuadas.
 - Calidad del hormigón, especialmente impermeabilidad a los cloruros.
 - Recubrimiento de las armaduras.
 - Control del valor máximo de la abertura de fisuras.
 - Disposición de protecciones superficiales.

- ◆ Para estructuras de acero:
 - Sobredimensionamiento de la sección dotando de espesores adicionales en previsión de la corrosión esperada durante la vida útil.
 - Disposición de medidas de protección mediante recubrimientos exteriores de pintura o galvanizados, protecciones catódicas y protecciones con cubiertas de hormigón en las zonas de mayor corrosión.

Por tanto, considerando que lo conveniente es adoptar una estrategia de durabilidad, es difícil priorizar con carácter general la mayor conveniencia de una solución estructural respecto a otra en función de las consideraciones de reparación y mantenimiento, muy influida por las condiciones y costes locales. No obstante lo anterior, las soluciones de acero suelen ser las más competitivas para obras con vidas útiles cortas o muy cortas y las de hormigón para vidas útiles largas.

Entre los materiales con mayor durabilidad frente al agua de mar hay que destacar los plásticos. La irrupción en el mercado de estos materiales, con un campo de utilización cada vez más amplio, hace que, en el futuro próximo, haya que considerar su empleo frecuente en las estructuras de amarre y atraque o, por lo menos, en sus elementos auxiliares.

Capítulo III
***Dimensionamiento en planta
y alzado, bases de diseño y
criterios generales de proyecto***



Índice Capítulo III

CAPÍTULO III. DIMENSIONAMIENTO EN PLANTA Y ALZADO, BASES DE DISEÑO Y CRITERIOS GENERALES DE PROYECTO

3.1. INTRODUCCIÓN	65
3.2. DIMENSIONAMIENTO EN PLANTA Y ALZADO	65
3.2.1. Dimensionamiento en planta	67
3.2.1.1. Emplazamiento	67
3.2.1.2. Orientación	67
3.2.1.3. Alineaciones	68
3.2.1.4. Número de atraques	68
3.2.1.5. Longitud total de la línea de atraque	79
3.2.1.5.1. Uso comercial, industrial y militar	79
3.2.1.5.2. Uso pesquero	82
3.2.1.5.3. Uso náutico-deportivo	82
3.2.1.6. Posición y dimensiones en planta de tacones y rampas	83
3.2.1.6.1. Tacones fijos	84
3.2.1.6.1.1. Tacón fijo dando servicio a un único atraque	84
3.2.1.6.1.2. Tacón fijo dando servicio a dos atraques situados en la misma alineación	85
3.2.1.6.1.3. Tacón fijo dando servicio a dos atraques situados en diferentes alineaciones	85
3.2.1.6.2. Rampas móviles con tacones auxiliares fijos	87
3.2.1.6.2.1. Rampas móviles	87
3.2.1.6.2.2. Tacones auxiliares fijos	89
3.2.1.6.3. Tacones flotantes y rampas auxiliares	90
3.2.1.6.3.1. Tacones flotantes	90
3.2.1.6.3.2. Rampa auxiliar	91
3.2.1.7. Anchura	92
3.2.1.7.1. Área de operación	93
3.2.1.7.2. Área de almacenamiento	98
3.2.1.7.2.1. Capacidad de almacenamiento requerida	99
3.2.1.7.2.2. Superficie de almacenamiento requerida	103
3.2.1.7.3. Área de servicios auxiliares y complementarios	105
3.2.1.7.4. Definición de la anchura de la instalación de atraque	107
3.2.1.8. Accesos terrestres	107
3.2.1.8.1. Previsión de tráfico viario	108
3.2.1.8.2. Previsión de tráfico ferroviario	109
3.2.2. Dimensionamiento en alzado	110
3.2.2.1. Nivel de coronación del atraque	110
3.2.2.1.1. Nivel de coronación por condiciones de explotación	111

3.2.2.1.2.	Nivel de coronación por condiciones de no rebasabilidad de las aguas exteriores	112
3.2.2.1.3.	Nivel de coronación por condiciones de no inundación por los niveles freáticos en el trasdós	114
3.2.2.2.	Calado del atraque	115
3.2.2.3.	Perfil longitudinal de tacones y rampas	120
3.2.2.3.1.	Tacones fijos	121
3.2.2.3.2.	Rampas móviles y tacones flotantes	122
3.2.2.4.	Pendientes del área de operación y almacenamiento	123
3.2.2.4.1.	Pendientes en el área de operación	123
3.2.2.4.2.	Pendientes en el área de almacenamiento	127
3.3.	BASES DE DISEÑO	127
3.3.1.	Procedimiento de verificación	127
3.3.2.	Modos de fallo asociados a estados límites últimos (ELU)	128
3.3.3.	Modos de fallo asociados a estados límites de servicio (ELS)	129
3.3.4.	Modos de parada asociados a estados límite de parada operativa (ELO)	130
3.3.5.	Métodos de cálculo	131
3.3.5.1.	Formulación de la ecuación de verificación	134
3.3.5.1.1.	Formulación determinista	134
3.3.5.1.2.	Formulación determinista-probabilista	135
3.3.5.1.3.	Formulación probabilista	136
3.3.5.2.	Métodos de resolución de la ecuación de verificación y de cálculo de la probabilidad de fallo o parada	136
3.3.5.2.1.	Métodos de Nivel I	136
3.3.5.2.2.	Métodos de Niveles II y III	137
3.3.5.3.	Criterios para la aplicación de los métodos de resolución de la ecuación de verificación	137
3.4.	CRITERIOS GENERALES DE PROYECTO	138
3.4.1.	Tramos	138
3.4.2.	Carácter general y operativo de cada tramo	139
3.4.2.1.	Carácter general del tramo	139
3.4.2.2.	Carácter operativo del tramo	139
3.4.3.	Fases de proyecto y su duración.Vida útil	142
3.4.4.	Criterios de seguridad, servicio y explotación	143
3.4.4.1.	Fiabilidad frente a modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos	143
3.4.4.2.	Funcionalidad frente a modos de fallo adscritos a Estados Límite de Servicio	145
3.4.4.3.	Operatividad frente a modos de parada adscritos a Estados Límite Operativos	146

3.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo del proyecto es conseguir una obra de atraque y amarre que responda a criterios de optimización funcional, económica y ambiental y que, en su conjunto, tramos y elementos satisfaga los requisitos de fiabilidad, aptitud al servicio ⁽¹⁾ y operatividad exigidos en cada una de las fases de proyecto (Ver ROM 0.0 y apartado 3.4.4 de esta ROM).

El proyecto de una obra de atraque y amarre, su definición y verificación, deberá ser el resultado de, al menos, la siguiente secuencia de actividades:

1. Definición de usos y requerimientos operativos y funcionales para la obra de atraque y amarre.
2. Descripción del emplazamiento, reuniendo la información local topográfica, geotécnica, morfológica, climática, medioambiental, de disponibilidad de los materiales, de los métodos constructivos, de uso u explotación y de las posibilidades de reparación y mantenimiento, que permita, a su vez, determinar los factores de proyecto que definen la geometría, caracterizan el medio físico, el terreno y los materiales, y valoran los agentes y sus acciones actuantes.
3. Estudio inicial de alternativas, con el objetivo de poder definir a través de criterios de optimización económica, funcional y ambiental:
 - a. La configuración física (o configuraciones) del atraque más conveniente que satisfaga los usos y requerimientos funcionales y operativos exigidos.
 - b. La tipología estructural (o tipologías) más conveniente frente a los requerimientos de uso y explotación y a los condicionantes geotécnicos, morfológicos, climáticos, medioambientales, constructivos y de los materiales, de conservación y mantenimiento existentes en el emplazamiento.
4. Definición de las disposiciones en planta y alzado de la obra de atraque para que, una vez seleccionada la alternativa de proyecto, satisfagan los requerimientos funcionales, considerando las limitaciones existentes en el emplazamiento.
5. Establecimiento de los criterios generales de proyecto: los plazos temporales de la obra, la determinación de sus escalas espaciales (tramos), los caracteres general y operativo, la determinación de sus escalas temporales (fases de proyecto) y sus duraciones, los requisitos de fiabilidad, aptitud al servicio y operatividad en cada fase de proyecto y el plan de desmantelamiento, en su caso.
6. Elección de la alternativa de proyecto más conveniente.
7. Predimensionamiento de la obra, diferenciándose en caso necesario por tramos y secciones.
8. Verificación de que en el conjunto de la obra, sus tramos y elementos se alcanzan los niveles de fiabilidad, aptitud al servicio y operatividad exigidos.
9. Optimización de la obra, de sus tramos y secciones.
10. Redacción del proyecto.

En este apartado y siguientes se dan los criterios necesarios para acometer el conjunto de actividades englobadas en el proyecto de obras de atraque y amarre. No obstante, la definición de usos y requerimientos operativos y funcionales asociados a los mismos se desarrollan en los apartados 2.2 y 2.3. A su vez, los apartados 2.3 y 2.5 se dedican a los criterios para la selección de alternativas tanto en lo que se refiere a la configuración física como a la tipología estructural de la obra de atraque y amarre.

3.2 DIMENSIONAMIENTO EN PLANTA Y ALZADO

Una vez seleccionada la alternativa de proyecto tanto desde el punto de vista de su configuración física (monoboya, pantalán, muelle,...) como de la tipología estructural (obra de gravedad, pantalla, de pilotes, flotante,...), los aspectos operativos que fundamentalmente condicionan las dimensiones principales de la obra de atraque y amarre en planta y alzado (nº de atraques, longitud total de la línea de atraque, calado, nivel de coronación, perfil longitudinal de tacones y rampas,...) son:

(1) De acuerdo con la norma UNE-EN 1990:2003. En la ROM 0.0 al término "aptitud al servicio" se le denomina funcionalidad. En esta ROM ambos términos se usan indistintamente.

- ◆ Las previsiones de volúmenes y tipos de mercancías o pasajeros a manipular anualmente en los atraques.
- ◆ El tamaño, composición y características de la flota previsible de buques en el atraque.
- ◆ La distribución estadística de escalas o de intervalos de tiempo entre llegadas de buques consecutivas.
- ◆ La distribución del volumen de mercancías cargadas/descargadas por escala (tráfico unitario).
- ◆ Distribución de los tiempos de servicio o tiempos de utilización de un atraque por dos buques consecutivos.
- ◆ Las características y los niveles de productividad de las operaciones de carga y descarga, incluyendo el número y los rendimientos de los equipos de manipulación en el emplazamiento, así como los utilizados para la interconexión interna del área de operación con el área de almacenamiento.
- ◆ El nivel de calidad del servicio (τ) considerado como admisible. Se define como nivel de calidad del servicio a la espera relativa o tiempo medio de espera de los buques en puerto antes de que se le asigne un atraque por encontrarse ocupados todos los atraques o tiempo de congestión (\bar{t}_e) dividido por el tiempo medio total de los buques en el atraque o tiempo de servicio (\bar{t}_s). Es decir $\tau = \bar{t}_e / \bar{t}_s$.
- ◆ Las características de los accesos marítimos.
- ◆ La configuración y el tamaño de las dársenas y la disponibilidad de espacios para la realización de las maniobras de acceso, permanencia y salida de los buques, así como la tipología estructural de las obras portuarias con que se forman.
- ◆ Las condiciones climáticas locales.
- ◆ Los medios y dotaciones para la maniobrabilidad de los buques previstos (sistemas de propulsión, disponibilidad de remolcadores, ...).
- ◆ La distribución de los tiempos de estancia de las mercancías en las áreas de almacenamiento.
- ◆ Las necesidades de superficie de almacenamiento de mercancías hasta su evacuación/recepción por los medios de transporte terrestre o trasbordo a otro tipo de buques, en función del tipo de mercancía y de los sistemas de manipulación en el área de almacenamiento utilizados.
- ◆ La capacidad de evacuación/recepción de los medios de transporte terrestre en función de los equipos y estaciones específicas de transferencia (equipos de depósito para dar soporte al modo viario, terminales ferroviarias, ...).

Las dimensiones mínimas de la obra de atraque y amarre en planta y alzado deberán ser aquellas que permitan manipular los tráficó previsible, en condiciones de seguridad, con los niveles de servicio y operatividad considerados. A estos efectos, se define como *capacidad* de la línea de atraque, para unas condiciones locales y de operatividad determinadas, al máximo volumen anual de mercancías que la misma es capaz de manipular en dichas condiciones, en conjunto y por unidad de longitud. Se expresa en t , n° de contenedores, TEU's ⁽²⁾, unidades de transporte (camiones completos o UTI), vehículos o pasajeros (tanto totales como por metro lineal de atraque).

La capacidad real de la obra de atraque y amarre puede no quedar determinada únicamente por la capacidad de su línea de atraque sino por las capacidades de depósito en áreas próximas y/o para la de evacuación/recepción de la mercancías a través de sus accesos terrestres. La ROM 3.2. (Configuración terrestre de los puertos)

(2) TEU (Twenty feet equivalent unit): unidad de medida de los contenedores, expresada como unidad de contenedor equivalente al de 20' (6,10 m).

desarrollará estos aspectos. No obstante, en esta Recomendación se dan algunos criterios preliminares indicativos sobre capacidades de las explanadas y de evacuación/recepción a través de los accesos terrestres, así como otras dimensiones e índices asociados.

3.2.1 Dimensionamiento en planta

Las características a definir en una obra de atraque y amarre referentes al dimensionamiento en planta, una vez decidido su emplazamiento, son:

- ◆ Orientación.
- ◆ Alineaciones.
- ◆ Número de atraques (N_a)
- ◆ Longitud total de la línea de atraque (L_a).
- ◆ Posición y dimensiones en planta de tacones y rampas.
- ◆ Anchura (A_m).
- ◆ Accesos terrestres.

3.2.1.1 Emplazamiento

El emplazamiento del atraque, conjuntamente con su disposición en planta y alzado, así como la disposición en planta y alzado de los canales de acceso, áreas de maniobra y dársenas, deben garantizar, unas condiciones de operatividad mínimas establecidas de acuerdo con lo dispuesto en las tablas 3.4.3 y 3.4.4 de esta Recomendación, teniendo en cuenta todos los modos de parada.

En las condiciones climáticas y océano-meteorológicas límite de operatividad establecidas para la permanencia del buque en el atraque (Ver apartado 4.6.4.4.7.1.3.a₄), las dimensiones en planta y alzado de los accesos marítimos, áreas de maniobra y dársenas asociados con la instalación de atraque deben garantizar el acceso de la flota de buques prevista al puesto de atraque desde mar abierto, su salida del mismo, y la realización de las maniobras de atraque y desatraque con unos determinados medios auxiliares (remolcadores, ayudas a la navegación, ...) en coherencia con las posibilidades y condiciones de explotación existentes en el puerto en el que se ubica la instalación. Asimismo, las condiciones de abrigo de la línea de atraque, conjuntamente con otros factores que pueden dar lugar a causas de paralización operativa (ver Cuadro I.13.), deben garantizar la permanencia del buque en el atraque y las operaciones de carga y descarga y, en su caso, el embarque y desembarque de pasajeros, con los sistemas de carga y descarga del buque considerados en la terminal, en las condiciones límite de operatividad establecidas para estos modos de parada.

Los criterios, factores de proyecto y procedimientos para el dimensionamiento en planta y alzado de los accesos marítimos, áreas de maniobra y dársenas se encuentran en el siguiente documento ROM:

- ◆ ROM 3.1-99. Proyecto de la configuración marítima de los puertos. Canales de acceso y áreas de flotación.

A su vez, los criterios y procedimientos para la verificación de las condiciones de abrigo de la línea de atraque se encuentran en el siguiente documento ROM:

- ◆ ROM 1.0-09. Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de abrigo. Criterios generales y factores de proyecto.

3.2.1.2 Orientación

Las obras de atraque y amarre con una alineación fija se orientarán, siempre que sea posible, de forma que los agentes climáticos locales (corriente, viento y oleaje) tengan los mínimos efectos sobre su operatividad. Por

ello, es recomendable disponer el atraque y amarre de forma que el eje longitudinal de los buques atracados/amarrados quede lo más paralelo posible a las direcciones más frecuentes de las acciones climáticas o, si eso no es posible, a la más frecuente de las preponderantes. En este sentido, se considerará como tal a la acción que produzca menor nivel de operatividad.

Con carácter indicativo, en las zonas abrigadas frente al oleaje donde se presentan fuertes corrientes (de marea o fluviales), esta acción suele ser preponderante, por lo que conviene alinear el buque atracado con la dirección de la corriente. Cuando ésta sea débil se procurará alinearlo principalmente en la dirección del viento reinante. En zonas no abrigadas, a estos efectos generalmente la acción preponderante suele ser el oleaje, por lo que convendrá alinear el buque atracado/amarrado en la dirección más frecuente del oleaje o disponer de un único punto de amarre (monoboya) que permita la libertad de giro del buque frente a las acciones actuantes.

La orientación del atraque también puede tener importancia en los niveles de agitación de la dársena por reflexiones, así como en la posibilidad de que se produzcan fenómenos de amplificación dinámica (resonancia) tanto en la dársena como en el sistema buques/amarras/defensa asociados a la presencia de oleaje o de ondas largas. Deberá tenderse a reducir los efectos de estos fenómenos con una adecuada orientación, tipología estructural y configuración del atraque, evitándose especialmente que las zonas abrigadas puedan entrar en resonancia (Ver ROM 1.0) y llevando los periodos naturales de oscilación de los movimientos más críticos de los buques amarrados pertenecientes a la flota esperable en el atraque lo más lejos posible de los periodos correspondientes de las acciones actuantes sobre los mismos. Los órdenes de magnitud de los periodos naturales de oscilación de un buque amarrado se consignan en el apartado 4.6.4.4.7 de esta Recomendación.

En el caso de obras de atraque y amarre para mercancías peligrosas, la elección de la orientación tomará en consideración prioritariamente que se favorezcan las condiciones de maniobrabilidad de los buques durante las operaciones de atraque y desatraque, así como una salida rápida de los mismos en casos de emergencia.

La orientación del atraque también puede tener incidencia en la dinámica de sedimentos del emplazamiento. Deberá analizarse este efecto para aquellas zonas donde se prevean aterramientos o erosiones, tanto en la propia obra como en otras próximas o la modificación del entorno natural.

3.2.1.3 Alineaciones

En general, cuando la obra sea de un atraque múltiple, será conveniente que se disponga con una única alineación, si es posible en el emplazamiento, cuando el sistema de manipulación a utilizar sea un sistema discontinuo por elevación, al favorecerse de ese modo mayores flexibilidades operativas y una óptima utilización de los equipos de manipulación disponibles así como, en su caso, de la explanada aneja.

Cuando el sistema de manipulación a utilizar sea un sistema continuo o en el caso de los tráficos de pasajeros, la ubicación de los atraques en una única o en varias alineaciones no incide normalmente en la operatividad de la instalación. En estos casos, la disposición de la línea de atraque en una o más alineaciones es función principalmente del espacio disponible. No obstante, la disposición en varias alineaciones en el caso de atraques múltiples puede dar lugar a la necesidad de mayores longitudes globales de atraque si la flota de buques esperable es muy heterogénea, con el objeto de mantener la flexibilidad operativa asociada a la asignación de atraque.

Independientemente de lo anterior, en el caso de atraques para mercancías peligrosas puede ser conveniente disponer los atraques de forma aislada y discontinua en una o en varias alineaciones con el objeto de mantener distancias de seguridad entre buques que impidan la afección entre los mismos en caso de que se produzcan situaciones de emergencia.

3.2.1.4 Número de atraques

El número de atraques proyectado (N_a) deberá ser el mínimo que tenga capacidad de atender a la flota de buques esperable con los tráficos unitarios previstos, en las condiciones locales y de explotación del emplazamiento, con los

tiempos de espera del buque requeridos (niveles de servicio) y con los niveles de inoperatividad de la instalación asociados a la paralización de las operaciones de carga y descarga o de embarque y desembarque de pasajeros, a la suspensión de la accesibilidad marítima y a la permanencia de los buques en el atraque (Ver apartado 3.4.)

A estos efectos, como primera aproximación el Proyectista deberá conocer del Promotor de la instalación, como mínimo:

- ◆ El máximo volumen anual (C_t) por tipo de mercancías a manipular en el atraque, así como las características de la flota: tráfico regular, discrecional ⁽³⁾ o mixto y, en su caso, su grado de estacionalidad. Se expresa en t , nº de contenedores, TEU, unidad de transporte (camiones completos o UTI: remolque, semirremolques o plataformas), vehículos o número de pasajeros. En su caso, se definirá para cada tipo de mercancía, o de unidad de carga y transporte diferenciada ($C_{t,i}$).
- ◆ El tráfico unitario medio; es decir, el volumen medio de mercancías cargadas/descargadas en cada escala, considerando la flota de buques esperable en el atraque (\bar{C}_u). Puede obtenerse como media de la función de distribución de los tráficos unitarios. En el caso de que la flota de buques prevista en el atraque se defina mediante buques de proyecto (Ver apartado 4.6.4.4.1) se considerará como tráfico unitario medio el valor medio entre los asociados al buque máximo, medio y mínimo. El tráfico unitario medio se definirá para cada tipo de mercancía o de unidades de carga o transporte diferenciadas que puedan ser transportadas (vehículos, camiones completos, UTI o plataformas y TEU), de acuerdo con el reparto medio de la capacidad entre ellas que el Promotor estime que se va a producir en los buques ($\bar{C}_{u,i}$). La carga unitaria media asociada con la flota de buques esperable en el atraque no depende únicamente del tamaño de los buques sino en mayor medida de otros factores como las características de las líneas marítimas que utilizan la instalación (regular/tramp, transoceánica/de corta distancia), el tipo de terminal (import-export, de tránsito o mixtas), el tráfico generado en su área de influencia (hinterland) y de las características del mismo (relación importación/exportación), si la terminal es pública o dedicada, la eficiencia y productividad de la instalación, la organización comercial de las líneas marítimas que escalan, los acuerdos comerciales entre las navieras y las empresas estibadoras, ⁽⁴⁾

(3) Con carácter general se utiliza la denominación inglesa Tramp para los tráficos no regulares o discrecionales.

(4) Aunque es muy difícil su generalización debido a la gran variabilidad que puede resultar en función de las características de los factores de los que dependen los tráficos unitarios en cada emplazamiento y situación, a falta de otros datos más precisos, en las instalaciones de atraque para contenedores y ro-ro como primera aproximación podrán adoptarse para cada buque de la flota esperable en el atraque los siguientes tráficos unitarios medios correspondientes tanto a carga como a descarga en función de la capacidad del buque, siempre que las líneas marítimas sean regulares y se consideren consolidadas:

- ◆ *Terminal import-export*
 - Línea marítima feeder o de transporte marítimo de corta distancia directa entre dos puertos:
 - En carga y en descarga: 70% de la capacidad de carga del buque medida en TEU para buques portacontenedores o en nº de camiones completos, vehículos, plataformas o UTI para buques ro-ro y ro-pax.
 - Línea marítima transoceánica o feeder con escalas en varios puertos:
 - En carga y en descarga en escala intermedia: 20% de la capacidad del buque.
 - En carga y en descarga en escala inicial o final de la línea marítima: 40% de la capacidad del buque.
- ◆ *Terminal de tránsito*
 - Línea marítima feeder o de transporte marítimo de corta distancia:
 - En carga y en descarga: 70% de la capacidad de carga del buque.
 - Línea marítima transoceánica:
 - Entre carga y descarga: 30% de la capacidad del buque.
- ◆ *Terminal mixta*

Para cada tipo de línea marítima, se adoptarán como tráficos unitarios la media ponderada de los anteriores, considerando la relación existente entre tráficos import-export y de tránsito.

Las anteriores estimaciones de tráficos unitarios por escala se consideran de aplicación para terminales públicas. Para terminales dedicadas pueden suponerse aumentos del orden del 15% sobre los establecidos para terminales públicas (aquellas en las que puede operar cualquier línea marítima).

El tráfico unitario en toneladas correspondiente a carga y a descarga en toneladas podrá obtenerse considerando el peso bruto medio por unidad de carga o de transporte cargado manipulado y la tara del mismo cuando no está cargado, así como la relación entre los que se transportan cargados y vacíos. A falta de otros datos, en las terminales import-export, como aproximación puede considerarse que esta última relación es equivalente en carga o en descarga a la relación que se produce en la terminal entre tráficos de importación y de exportación.

En líneas discrecionales o tramp con tráficos de graneles son usuales tráficos unitarios en carga o descarga del 80% de la capacidad del buque.

- ◆ El número, características y rendimientos de los equipos de manipulación (grúas para las operaciones de carga y descarga por elevación, cabezas tractoras para operaciones por rodadura no autopropulsadas o 2° conductores para operaciones de rodadura autopropulsada no acompañadas, ...) que van a estar disponibles por atraque trabajando simultáneamente en cada buque atracado para cada tipo de carga, así como la productividad neta asociada con los procesos de carga y descarga.
- ◆ El tiempo total útil de trabajo disponible en los atraques durante el año.
- ◆ Los niveles de operatividad mínimos admisibles de la instalación asociados con la paralización de las operaciones de carga y descarga o al embarque y desembarque de pasajeros y la suspensión de accesibilidad marítima, así como de la permanencia del buque en el atraque.
- ◆ El nivel de calidad del servicio (τ) requerido. En general se consideran admisibles esperas relativas entre 0.1 y 0.5 en función de las características de la flota esperable en el atraque. Es decir, tiempos medios de espera entre un 10% del tiempo medio de servicio (para tráficos totalmente regulares) y el 50% (para tráficos totalmente tramp), siendo los valores intermedios para los tráficos mixtos en función del tipo de líneas marítimas que utilizan la instalación de atraque.

El número de atraques puede obtenerse a través de la resolución de un sistema de esperas definido por el nivel de servicio requerido y por las funciones de distribución de escalas o de intervalos de tiempo entre llegadas de buques consecutivos y la de los tiempos de servicio o de tiempo de utilización de un atraque por buques consecutivos. A estos efectos se define como tiempo de servicio (t_s) el tiempo durante el cual un atraque está asignado a un buque por escala. Puede descomponerse en:

- ◆ Tiempo activo o tiempo neto empleado en la carga y la descarga (t_a).
- ◆ Tiempo improductivo: labores de preparación y finalización de operaciones, demoras en las autorizaciones de carga y descarga, paralización de las operaciones de carga y descarga por superarse las condiciones climáticas límite de operatividad o por otra causa como finalización de los turnos de trabajo, imposibilidad de desatraque y partida del buque por razones climáticas o por estar inoperativos medios auxiliares necesarios para la maniobra como remolcadores, ... (t_i).
- ◆ Tiempo de maniobra de atraque, desatraque y labores de preparación del buque para ser servido (t_m).

La suma del tiempo activo y del tiempo improductivo se le denomina plancha unitaria (t_{pu}).

Las funciones de distribución de escalas y de tiempos de servicio pueden definirse de acuerdo con los siguientes criterios:

a) Función de distribución de escalas o de intervalos de tiempo entre la llegada de dos buques consecutivos

A partir de análisis estadísticos llevados a cabo en instalaciones de atraque, con carácter general se ha observado que la llegada de buques a una terminal marítima es aleatoria si consideramos un determinado periodo de tiempo, respondiendo razonablemente a una distribución de Poisson, por tanto, la función de distribución de los intervalos de tiempo entre dos llegadas consecutivas de buques durante dicho periodo puede aproximarse mediante una función exponencial para cualquier tipo de instalación de atraque e independientemente de las características de las líneas marítimas que utilizan la instalación, incluso para escalas de buques muy programadas y particularmente cuando la instalación de atraque está formada por atraques múltiples y escalan en la misma varias líneas marítimas.

Por tanto, en el caso de que el Promotor no esté en condiciones de definir la función de distribución de los intervalos de tiempo entre la llegada de dos buques consecutivos puede adoptarse para la misma la siguiente función exponencial:

$$F(x) = e^{-\lambda_{max}x}$$

siendo λ_{max} la frecuencia de llegada mensual de buques correspondiente al mes de máxima frecuencia.

En el caso de que el Promotor no esté en condiciones de establecer la frecuencia de llegada mensual de buques correspondiente al mes de máxima frecuencia, este parámetro podrá aproximarse a partir del máximo volumen anual de mercancías a manipular en el atraque (C_t) y de la carga unitaria media (\bar{C}_u), diferenciadas en su caso por tipos de mercancías y medidas en unidades homogéneas, a través de la siguiente formulación:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{12} \cdot \frac{C_t}{\bar{C}_u} \cdot \gamma_p = \frac{1}{12} \cdot \frac{\sum_i C_{t,i}}{\sum_i \bar{C}_{u,i}} \cdot \gamma_p$$

Siendo γ_p un factor de pico con el objeto de tomar en consideración distribuciones no uniformes a lo largo del año en las llegadas de los buques al puerto. A falta de datos más precisos puede adoptarse un valor de 1.2.

b) Función de distribución de los tiempos de servicio o tiempo de utilización de un atraque por buques consecutivos

En estudios realizados de los tiempos de servicio en instalaciones de atraque se ha observado que la distribución de los mismos asociada a un determinado periodo de tiempo se ajustan razonablemente a distribuciones de componente constante

$$G(\bar{x}, \sigma) = G(\bar{t}_s, \frac{\bar{t}_s - t_{cc}}{\sqrt{K}})$$

resultado de la combinación de una componente constante (t_{cc}) y de una distribución Erlang de orden 4, de orden 2 o de una exponencial ($K = 1$), en función de que la composición de la flota de buques en el atraque y, consiguientemente, de que los tráficos unitarios, sean más o menos homogéneos (5). En el límite, en el caso de una flota completamente homogénea con idénticos tráficos unitarios sería una distribución Erlang con $K = \infty$. La componente constante es debida a que la probabilidad de que se presenten tiempos de servicio pequeños por debajo de un cierto valor umbral (t_{cc}) debe ser obligatoriamente nula por imposibilidad física de que se produzcan.

Por tanto, a falta de datos estadísticos más precisos aportados por parte del Promotor de la instalación o de la estimación de la función de distribución de los tiempos de servicio mediante la aplicación de modelos de simulación de la explotación de la terminal que se adapten a las condiciones previstas para la misma, podrá considerarse que las anteriores funciones son representativas de la distribución de los tiempos de servicio o de utilización de un atraque por buques consecutivos, fijando el tiempo de servicio medio (\bar{t}_s). Del lado de la seguridad, en estos casos se considerará que la componente constante (t_{cc}) no es significativa respecto al tiempo de servicio medio.

En estos casos se adoptará como tiempo de servicio medio (\bar{t}_s) el obtenido como suma de la plancha unitaria y del tiempo de maniobra medios. Estos tiempos medios pueden estimarse por medio de la siguiente formulación:

(5) La función de distribución de componente constante equivale al desplazamiento de la función de Erlang o Exponencial en el valor correspondiente al tiempo mínimo posible de utilización del atraque. La varianza de esta distribución es la misma que la de la función de distribución de la componente no constante. Es decir:

$$\sigma^2 = \frac{(\bar{t}_s - t_{cc})^2}{K},$$

siendo $K = 2$ cuando la función de distribución de la componente no constante adoptada sea una Erlang de orden 2 y $K = 1$ cuando esta función sea una exponencial.

◆ *Plancha unitaria media* (\bar{t}_{pu})

$$\bar{t}_{pu} = \frac{\bar{C}_u}{\bar{N}_g \cdot \bar{R} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3} = \frac{\bar{C}_u}{\bar{P}_b \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3} = \frac{\bar{C}_u}{\bar{P}_n}$$

Siendo:

\bar{C}_u : tráfico unitario medio.

\bar{N}_g : número medio de equipos de manipulación (grúas para operaciones de carga y descarga por elevación, de cabezas tractoras para operaciones por rodadura no autopropulsadas o de conductores para operaciones de rodadura autopropulsada no acompañadas) que se prevé que van a estar disponibles por atraque trabajando simultáneamente en cada buque atracado. El máximo número de equipos de manipulación o de conductores trabajando de forma efectiva por atraque está limitado por condiciones físicas y operativas. En el caso de grúas pórtico sobre carriles, a los efectos del cálculo de la plancha unitaria media, el número máximo que es posible considerar es función de la relación eslora del buque medio/distancia entre topes de la grúa ⁽⁶⁾ y de si la carga y descarga se hace desde un lado (atraque convencional) o desde ambos lados del buque (nuevos diseños funcionales de atraque como la solución “ship in a slip”). En el caso de cabezas tractoras, el número máximo suele ser del orden de 3 o 4 por rampa de buque en estado operativo.

\bar{R} : rendimiento bruto medio de cada uno de los equipos de manipulación o, en su caso, de conductores. Se mide en t/h, TEU/h, contenedores/h, UTI/h o vehículos/h en función del tipo de mercancía o de las unidades de carga o de transporte manipuladas. Los rendimientos brutos medios de los equipos de manipulación o de los conductores son muy variables en cada terminal y en cada país en función de las características y nivel tecnológico de los equipos de manipulación, de la composición de la flota, de la relación entre tráficos de carga y descarga, de la conformación y tamaño de la terminal, de la organización de la operativa de carga, descarga, estiba y desestiba del buque, de la capacitación y eficiencia de la mano de obra portuaria y de la normativa de seguridad.

Los rendimientos brutos medios indicativos de los equipos de manipulación de mercancías que se presentan actualmente en España se recogen en la tabla 3.2.1.1.

Los rendimientos brutos medios indicativos en el caso de conductores (operaciones ro-ro de mercancías autopropulsadas acompañadas (p.e. vehículos en régimen de mercancía)) que se presentan actualmente en España son del orden de 8-10 vehículos/h con dos carriles en tación o rampa de acceso al buque.

Para cada tipo de mercancía o unidad de carga o transporte que se manipule en la terminal, al producto $\bar{N}_g \cdot \bar{R}$ se le denomina productividad bruta media del subsistema de carga y descarga por buque (\bar{P}_b) asociada a dicho tipo de carga.

α_1 : coeficiente medio de aprovechamiento de la jornada de trabajo o porcentaje del tiempo neto empleado en las operaciones de carga y descarga respecto al total efectivo de trabajo (el transcurrido durante dichas operaciones de carga y descarga más los tiempos necesarios para la preparación y finalización de las mismas, los trámites y controles administrativos, ...). A falta de datos más precisos, para este coeficiente son usuales valores del orden de 0.90 para sistemas de manipulación continuos, de 0.85 para sistemas de manipulación discontinuos por elevación y de 0.75 para sistemas de manipulación por rodadura.

α_2 : coeficiente medio de actividad en el atraque o porcentaje de tiempo efectivo de trabajo respecto al total del buque en el atraque. A falta de datos más precisos, podrá adoptarse 0.70 si la mano de obra portuaria trabaja dos turnos al día en la terminal y 0.90 si trabaja tres turnos.

α_3 : nivel de operatividad de la instalación de atraque asociado a las operaciones de carga y descarga del buque o al embarque y desembarque de pasajeros y a la posibilidad de partida del buque desde el puesto de atraque.

(6) La distancia entre topes de grúas pórtico estándar puede consultarse en el apartado 4.6.4.2.1.1.1 de esta Recomendación.

Tabla 3.2.1.1. Rendimientos brutos medios horarios indicativos de los equipos de manipulación de mercancías que se dan actualmente en los puertos españoles (\bar{R})

		Grúas Fijas/ Móviles	Instalaciones Especiales	Grúas Contenedores ¹⁾	Cabezas Tractoras en operaciones Ro-Ro no autopropulsadas ²⁾	Tuberías o brazos-mangueras
		(t/h)	(t/h)	(Ud/h)	(Ud/h)	(m ³ /h)
MERCANCÍA GENERAL	Papel de bobina	80-180				
	Productos siderúrgicos	175-575				
	Productos hortofrutícolas	65-100				
	Productos forestales	60-260				
	Contenedores			18-30 ^{6) 8)}		
	Ro-Ro				5-7	
GRANELES SÓLIDOS	Clinker	375-500				
	Cemento	120-275	200-300 ³⁾ 120-225 ⁴⁾			
	Cereales/fertilizantes	175-275	225-375 ³⁾ 125-300 ⁴⁾			
	Carbón y minerales (descarga)	235-375	500-600 ⁵⁾			
	Chatarra	100-140				
GRANELES LÍQUIDOS	Crudos (descarga)					5.000-10.000 ⁷⁾
	Refinados y químicos					500-1.000 ⁷⁾
	Licuidos (LNG)					1.500-3.000 ⁷⁾
	Licuidos (LPG)					500-1.000 ⁷⁾

(1) Con un único spreader.
(2) Con dos carriles en tación o rampa de acceso al buque.
(3) Aspirador neumático sobre pórticos.
(4) Tornillo sin fin (ó medio mecánico continuo).
(5) Grúa pórtico + cinta transportadora.
(6) A falta de otros datos, para la conversión de Ud/h en TEU/h puede adoptarse un factor medio de 1.5.
(7) Por línea de carga/descarga.
(8) Puede considerarse que un contenedor medio equivale a 1.25 TEU. Si se admite esta relación, 18-30 contenedores/h son equivalente a 22.5-37.5 TEU/h. En grúas pórtico de contenedores con doble carro o doble spreader podría considerarse que los rendimientos brutos medios podrían ser un 50% superiores.

Se define como nivel de operatividad de la terminal asociado a estas operaciones al porcentaje de tiempo anual útil en el que el buque puede desatracar y partir sin problemas y realizar las operaciones de carga y descarga al no superarse los valores umbrales de los agentes climáticos u océano-meteorológicos que suponen la imposibilidad de partida del buque y la paralización de la carga y descarga por razones de seguridad, bien de los equipos de manipulación, bien de la propia operación de carga y descarga por ser los movimientos de los buques amarrados incompatibles con los equipos o por otras causas (rebases de las aguas exteriores por encima del nivel de coronación, incompatibilidad de pendientes y acuerdos entre planos inclinados en tacones y rampas, insuficiencia de altura de elevación de las grúas portuarias, ...)

A estos efectos, para cada instalación de atraque deberá definirse el nivel de operatividad asociado con las citadas operaciones. Los niveles de operatividad podrán obtenerse como el valor complementario de la probabilidad de parada operativa debida a cualquier causa de paralización operativa asociada con las operaciones de carga y descarga del buque o de embarque y desembarque de pasajeros y con la accesibilidad marítima (Ver apartados 3.4.4. y Capítulo 4).

La probabilidad de parada operativa podrá estimarse a partir de los regímenes medios anuales ⁽⁷⁾ de los agentes climáticos y océano-meteorológicos en el emplazamiento (régimen de velocidad de viento, de altura de ola, de velocidad de corriente, de niveles de las aguas exteriores), obteniendo la probabilidad de que los valores umbrales de los agentes, a partir de los cuales se producen las paradas operativas, sean superados en el año medio. A falta de estudios más precisos, los valores umbrales de los agentes climáticos y océano-meteorológicos que generalmente se adoptan como limitativos de las operaciones de carga y descarga de buques y del embarque y desembarque de pasajeros, considerándolos individualmente como agentes predominantes, se recogen en la tabla 3.2.1.3. Dado que los valores umbrales de los agentes correspondientes a la suspensión de la accesibilidad marítima al atraque (y de la partida del buque desde el atraque) no pueden ser menores que los de la permanencia del buque en el atraque, podrán adoptarse para la accesibilidad marítima los valores umbrales consignados para la permanencia del buque en la tabla 3.2.1.3.

Para cada tipo de unidad de carga o transporte que se manipule en la terminal, al producto $\bar{N}_g \cdot \bar{R} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3$ se le denomina productividad neta media del subsistema de carga y descarga por buque durante su estancia en la terminal (\bar{P}_n) asociada con dicho tipo de carga. Este parámetro es un indicador de la calidad de servicio de la instalación de atraque y debe ser establecido por el Promotor de la instalación como uno de los factores de proyecto necesario para el diseño y dimensionamiento infraestructural de la instalación de atraque.

Para unidades de transporte autopropulsadas acompañadas (camiones completos, trenes de carretera y vehículos), puede considerarse que las productividades netas medias usuales del subsistema de carga y descarga por buque están en el rango de 30-45 camiones/h y 150-400 ⁽⁸⁾ vehículos/h, para niveles de operatividad del 100%. Los mayores valores del rango están asociados normalmente a los buques de menor capacidad y, consiguientemente, con un menor número de cubiertas o bodegas.

Cuando el tráfico unitario medio se haya definido considerando diferentes tipos de mercancías o de unidades de carga y/o transporte, la plancha unitaria media se definirá como suma de las planchas unitarias medias correspondientes a cada una de las mercancías, unidades de carga o de transporte que definen el tráfico unitario medio cuando la carga y descarga de cada tipo de mercancía se realice de forma sucesiva. Cuando se realice de forma simultánea la plancha unitaria media será la mayor plancha unitaria media de las correspondientes a cada una de las mercancías, unidades de carga o de transporte en la que se diferencian los tráficos.

◆ Tiempo de maniobra medio (\bar{t}_m)

El tiempo de maniobra medio depende de la configuración marítima del puerto, de las características del acceso marítimo, en particular de la distancia entre el fondeadero o el punto de acceso del práctico y la terminal, de la disposición del atraque en relación con la facilidad de realización de las operaciones de atraque y desatraque de los buques, de las características de la flota de buques prevista en el atraque en cuanto a tamaño, velocidad de desplazamiento en las áreas portuarias y sistema de propulsión y maniobra, de las condiciones climáticas y océano-meteorológicas medias en el emplazamiento, y de la necesidad de utilización y, en su caso, eficiencia de los servicios técnico-náuticos al buque (practicaje, remolque y amarre).

El Promotor de la instalación, tomando en consideración todos estos factores así como las estadísticas disponibles en el puerto en que se emplaza la terminal, deberá definir el tiempo de maniobra medio para la flota de buques prevista en la terminal.

(7) Se define como régimen medio anual de un agente climático la función de distribución estadística que relaciona los diversos valores de la variable que identifica al agente (velocidad del viento, altura de ola, velocidad de la corriente, ...) con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en el año climático medio.

(8) Hasta 600 vehículos/h en buques con una única cubierta o bodega.

Debido a la cantidad de factores de los que depende, en gran medida función de las condiciones locales intrínsecas del emplazamiento de la terminal, es muy difícil generalizar los tiempos de maniobra medios. No obstante, con el objeto de valorar la componente del tiempo de maniobra asociada a la accesibilidad marítima al o desde el atraque puede considerarse que, en general, los criterios de explotación de las instalaciones portuarias limitan la velocidad de todo tipo de buques en las áreas portuarias a 15 nudos (7.5 m/s) en áreas exteriores de acceso marítimo a los puertos y a 10 nudos (5 m/s) en áreas interiores.

La resolución de este sistema de esperas permite obtener, entre otros resultados el valor de la espera relativa (τ) en función de un parámetro denominado tasa de ocupación (Φ). Dicha resolución puede realizarse mediante técnicas de simulación numérica (p.e. ejemplo simulación de Montecarlo) o bien mediante la aplicación de la teoría de colas.

Se define como tasa de ocupación de la instalación de atraque (Φ) asociada a un periodo de tiempo, a la relación entre el tiempo de utilización de los atraques con buque atracado y el tiempo de disponibilidad de los mismos. Dicho de otro modo, el porcentaje de tiempo en el que el total de atraques disponibles están completamente ocupados o la relación entre el número de buques que llegan a la terminal en un periodo de tiempo y el número de buques que pueden servirse en dicho periodo. Si adoptamos como periodo de tiempo el año, la tasa de ocupación puede formularse como ⁽⁹⁾:

$$\Phi = \frac{\text{n}^\circ \text{ anual de buques que llegan}}{\text{n}^\circ \text{ de buques que pueden servirse en un año}} = \frac{\lambda_{\max} (\text{buques / mes}) \cdot 12}{\frac{N_a \cdot t_{\text{año}} (h)}{\bar{t}_s (h / \text{buque})}}$$

Siendo:

λ_{\max} : frecuencia de llegada mensual de buques correspondiente al mes de máxima frecuencia.

N_a : número de atraques.

\bar{t}_s : tiempo de servicio medio.

$t_{\text{año}}$: horas operativas de la instalación de atraque al año. Se consideran horas operativas de la terminal al año las correspondientes a los días anuales útiles en que los atraques están efectivamente disponibles (el buque puede acceder y permanecer en el atraque sin problemas), así como en los que se pueden realizar operaciones de carga y descarga por disponibilidad de mano de obra portuaria en el caso de que ésta fuera necesaria. Para el cálculo de este parámetro deberán considerarse los días al año de no disponibilidad de mano de obra portuaria para las operaciones de carga y descarga por diversas razones (festivos, conflictividad laboral,...), y los correspondientes de inoperatividad de la terminal asociados a la suspensión de la accesibilidad marítima y de la permanencia del buque en el atraque, ya sea por condiciones climáticas superiores a los límites de operación, ya por cualquier otra causa de paralización operativa como la no disponibilidad de remolcadores (Ver apartado 4.1.1.3). En ausencia de estudios de mayor detalle, los valores umbrales de los agentes climáticos que con carácter habitual son utilizados como límites de operatividad para las citadas operaciones se recogen en la tabla 3.2.1.3. Asimismo, los niveles de operatividad mínimos admisibles para las obras de atraque y amarre se recogen en la tabla 3.4.3 de esta Recomendación.

A partir de la definición de la tasa de ocupación (Φ), el número de atraques necesarios, considerando como periodo de tiempo el año, puede obtenerse mediante la siguiente formulación:

$$N_a = \frac{12 \cdot \lambda_{\max} \cdot \bar{t}_s}{\Phi \cdot t_{\text{año}}}$$

Adoptando como valor de la tasa de ocupación (Φ) la correspondiente a la resolución del sistema de esperas para el nivel de servicio (espera relativa, τ) establecido por el Promotor de la instalación. La tasa de ocupación correspondiente a los sistemas de esperas más característicos en las instalaciones de atraque para esperas relativas de 0.10, 0.25 y 0.50 se incluyen en la tabla 3.2.1.2.

(9) Si se adopta un periodo de tiempo distinto al año, los parámetros de la formulación deberán adaptarse a dicho periodo de tiempo.

Tabla 3.2.1.2. Tasa de ocupación (Φ) correspondiente a los sistemas de esperas más característicos en las instalaciones de atraque, para esperas relativas (τ) de 0.10, 0.25 y 0.50

PARA ESPERA RELATIVA (τ) DE 0.10										
CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE ESPERAS	TASA DE OCUPACIÓN (Φ)									
	NÚMERO DE ATRAQUES (N_a)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$M/G_1/N_a$ y $M/G_\infty/N_a$ (Tráficos unitarios muy heterogéneos o totalmente homogéneos)	0,09	0,30	0,44	0,52	0,58	0,63	0,66	0,69	0,71	0,73
$M/G_2/N_a$ (Tráficos unitarios relativamente heterogéneos)	0,07	0,28	0,40	0,49	0,55	0,60	0,63	0,66	0,68	0,71
$M/G_4/N_a$ (Tráficos unitarios relativamente homogéneos)	0,08	0,29	0,41	0,50	0,56	0,61	0,64	0,67	0,69	0,72
PARA ESPERA RELATIVA (τ) DE 0.25										
CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE ESPERAS	TASA DE OCUPACIÓN (Φ)									
	NÚMERO DE ATRAQUES (N_a)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$M/G_1/N_a$ y $M/G_\infty/N_a$ (Tráficos unitarios muy heterogéneos o totalmente homogéneos)	0,20	0,45	0,57	0,65	0,70	0,74	0,77	0,79	0,80	0,82
$M/G_2/N_a$ (Tráficos unitarios relativamente heterogéneos)	0,17	0,43	0,54	0,62	0,67	0,71	0,75	0,77	0,78	0,81
$M/G_4/N_a$ (Tráficos unitarios relativamente homogéneos)	0,18	0,44	0,55	0,63	0,69	0,72	0,76	0,78	0,79	0,81
PARA ESPERA RELATIVA (τ) DE 0.50										
CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE ESPERAS	TASA DE OCUPACIÓN (Φ)									
	NÚMERO DE ATRAQUES (N_a)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$M/G_1/N_a$ y $M/G_\infty/N_a$ (Tráficos unitarios muy heterogéneos o totalmente homogéneos)	0,33	0,58	0,69	0,75	0,79	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88
$M/G_2/N_a$ (Tráficos unitarios relativamente heterogéneos)	0,29	0,54	0,65	0,72	0,76	0,79	0,81	0,83	0,85	0,86
$M/G_4/N_a$ (Tráficos unitarios relativamente homogéneos)	0,31	0,56	0,67	0,73	0,77	0,80	0,82	0,84	0,86	0,87
Leyenda										
$M/G_1/N_a$: Distribución de llegadas exponencial / Distribución de tiempos de servicio de componente constante, resultado de la combinación de una componente constante y de una distribución Exponencial.										
$M/G_2/N_a$: Distribución de llegadas exponencial / Distribución de tiempos de servicio de componente constante, resultado de la combinación de una componente constante y de una distribución Erlang de orden 2.										
$M/G_4/N_a$: Distribución de llegadas exponencial / Distribución de tiempos de servicio de componente constante, resultado de la combinación de una componente constante y de una distribución Erlang de orden 4.										
$M/G_\infty/N_a$: Distribución de llegadas exponencial / Distribución de tiempos de servicio de componente constante, resultado de la combinación de una componente constante y de una distribución Erlang de orden ∞ .										

La determinación del número de atraques necesarios a partir de la anterior formulación se realizará por tanteos sucesivos hasta que el número de atraques obtenido coincida con el que se ha supuesto para la fijación de la tasa de ocupación correspondiente al sistema de esperas considerado, para el nivel de servicio establecido por el Promotor.

Como puede deducirse de la formulación, las necesidades infraestructurales de atraque para atender a la flota de buques de las características y con los tráfico unitarios previstos en la instalación de atraque no tienen el carácter de absolutas: aumentan al disminuir la espera relativa admisible o

aumentar el tiempo de servicio medio, y disminuyen con las horas en que se encuentra operativa la instalación de atraque. En este sentido, para un nivel de servicio dado, aumentar la productividad neta media del subsistema de carga y descarga por buque durante su estancia en la instalación de atraque (aumentando el número de equipos de manipulación y sus rendimientos brutos, aumentando el número de turnos diarios de la mano de obra portuaria, ...) y/o aumentar las horas operativas de la terminal (trabajando todos los días del periodo considerado) permitiría atender a los mismos tráficos con un menor número de atraques. La solución más conveniente, de entre las posibles en el emplazamiento, deberá obtenerse mediante estudios de optimización económica, eligiéndose la que dé lugar a un menor coste global generalizado por tonelada o unidad de carga o transporte manipulada.

Tabla 3.2.1.3. Valores umbrales de los agentes climáticos y océano-meteorológicos que generalmente se adoptan como limitativos de diferentes modos de parada operativa en las obras de atraque y amarre

A. MUELLES Y PANTANALES	Velocidad absoluta del viento $V_{10,1 \text{ min}}$	Velocidad absoluta de la corriente $V_{c, 1 \text{ min}}$	Altura de la ola H_s
1. Maniobra de atraque de buques Acciones en sentido longitudinal al muelle Acciones en sentido transversal al muelle	17,0 m/s 10,0 m/s	1,0 m/s 0,1 m/s	2,0 m 1,5 m
2. Paralización operaciones carga y descarga (para equipos convencionales) Acciones en sentido longitudinal al muelle			
■ Petróleos	< 30.000 TPM 30.000-200.000 TPM > 200.000 TPM	22 m/s 22 m/s 22 m/s	1,5 m/s 1,5 m/s 1,5 m/s
■ Graneleros	Cargando Descargando	22 m/s 22 m/s	1,5 m/s 1,5 m/s
■ Transportadores de Gases Licuados	< 60.000 m ³ > 60.000 m ³	22 m/s 22 m/s	1,5 m/s 1,5 m/s
■ Mercantes de carga general. Pesqueros de altura y congeladores		22 m/s	1,5 m/s
■ Portacontenedores, Ro-Ros y Ferris		22 m/s	1,5 m/s
■ Transatlánticos y Cruceros (1)		22 m/s	1,5 m/s
■ Pesqueros de pesca fresca		22 m/s	1,5 m/s
Acciones en sentido transversal al muelle		22 m/s	1,5 m/s
■ Petroleros	< 30.000 TPM 30.000-200.000 TPM > 200.000 TPM	20 m/s 20 m/s 20 m/s	0,7 m/s 0,7 m/s 0,7 m/s
■ Graneleros	Cargando Descargando	22 m/s 22 m/s	0,7 m/s 0,7 m/s
■ Transportadores de Gases Licuados	< 60.000 m ³ > 60.000 m ³	16 m/s 16 m/s	0,5 m/s 0,5 m/s
■ Mercantes de carga general. Pesqueros de altura y congeladores		22 m/s	0,7 m/s
■ Portacontenedores, Ro-Ros y Ferris		22 m/s	0,5 m/s
■ Transatlánticos y Cruceros (1)		22 m/s	0,5 m/s
■ Pesqueros de pesca fresca		22 m/s	0,7 m/s
3. Permanencia de buques en muelle (5)			
■ Petroleros y transportadores de Gases Licuados			
Acciones en sentido longitudinal al muelle	30 m/s	2,0 m/s	3,0 m
Acciones en sentido transversal al muelle	25 m/s	1,0 m/s	2,0 m
■ Transatlánticos y Cruceros (2)			
Acciones en sentido longitudinal al muelle	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
Acciones en sentido transversal al muelle	22 m/s	0,7 m/s	0,7 m
■ Embarcaciones deportivas (2)	22 m/s	1,5 m/s	0,4 m
■ Acciones en sentido longitudinal al muelle	22 m/s	1,5 m/s	0,4 m
■ Acciones en sentido transversal al muelle	22 m/s	0,7 m/s	0,2 m
■ Otro tipo de buques			
	Limitaciones impuestas por las cargas de diseño de los muelles, compatibles con configuraciones de amarre que garanticen la seguridad del buque		

Valores umbrales de los agentes climáticos y océano-meteorológicos que generalmente se adoptan como limitativos de diferentes modos de parada operativa en las obras de atraque y amarre (Continuación)

B. FONDEADEROS		Velocidad absoluta del viento $V_{10,1 \text{ min}}$	Velocidad absoluta de la corriente $V_{c,1 \text{ min}}$	Altura de la ola H_s
1. Maniobra de aproximación y amarre		17,0 m/s	2,0 m/s	2,5 m
2. Permanencia del buque en el fondeadero				
■ Fondeos a la gira		24,0 m/s	2,0 m/s	3,5 m/s
■ Fondeos a barbas de gato		30,0 m/s	2,0 m/s	4,5 m/s
■ Fondeos a la entrante y vaciante o fondeos con un ancla en proa y otro en popa: Acciones longitudinales		24,0 m/s	2,0 m/s	3,5 m/s
Acciones transversales		Fondeadero no operativo		
3. Maniobra de aproximación y amarre		Dependen de las características de los equipos		
C. DUQUES DE ALBA, BOYAS, CAMPOS DE BOYAS Y MONOBOYAS	Amarradero con orientación libre			Amarraderos con orientación fija (campos de boyas, etc.)
	Amarre a monoboyas	Amarre a minimonoboyas (3)	Amarre a monoduques de alba	
1. Maniobra de aproximación y amarre				
■ Velocidad absoluta de viento $V_{10,1 \text{ min}}$		17 m/s	17 m/s	10 m/s
■ Velocidad absoluta de la corriente $V_{10,1 \text{ min}}$		2,00 m/s	2,00 m/s	0,5 m/s
■ Altura de ola H_s		2,50 m/s	2,00 m/s	2,00 m/s
2. Permanencia de buque en el fondeadero				
■ Velocidad absoluta de viento $V_{10,1 \text{ min}}$		30 m/s	24 m/s	30-22 m/s (4)
■ Velocidad absoluta de la corriente $V_{10,1 \text{ min}}$		2,00 m/s	2,00 m/s	2,00-1,00 m/s (4)
■ Altura de ola H_s		4,50 m/s	2,50 m/s	3,00-2,00 m/s (4)
Notas				
$V_{10,1 \text{ min}}$ = Velocidad media del viento, correspondiente a 10 m de altura y ráfaga de 1 minuto.				
$V_{c,1 \text{ min}}$ = Velocidad media de la corriente correspondiente a una profundidad del 50% del calado del duque, en un intervalo de 1 minuto.				
H_s = Altura de la ola significativa del oleaje en el emplazamiento, en presencia de la obra y sin la presencia del buque (para estudios de mayor precisión se considerará la influencia del periodo).				
Longitudinal = Se entenderá que el viento, la corriente o el oleaje actúan longitudinalmente, cuando su dirección está comprendida en el sector de $\pm 45^\circ$ con el eje longitudinal del buque.				
Transversal = Se entenderá que el viento, la corriente o el oleaje actúan longitudinalmente cuando su dirección está comprendida en el sector de $\pm 45^\circ$ con el eje transversal del buque.				
(1) = Los valores umbrales se refieren al embarque y desembarque de pasajeros.				
(2) = Los valores umbrales se refieren a los límites para mantener una habitabilidad aceptable con el pasaje a bordo.				
(3) = El amarre a minimonoboyas o boyas de pequeña dimensión se presenta habitualmente en embarcaciones pesqueras y deportivas.				
(4) = La primera cifra corresponde a acciones longitudinales al buque y la segunda a acciones transversales al buque.				
(5) = En los casos en que por condiciones de explotación se considere que el buque no abandona o no puede abandonar el atraque cuando se sobrepase el valor umbral de alguno de los agentes climáticos, para condiciones límite de permanencia deberán preverse configuraciones de amarre de tormenta que garanticen la seguridad del buque y de la obra para los valores extremales de cada uno de dichos agentes climáticos (Ver apartado 4.6.4.4.7).				

La metodología definida para determinar el número de atraques necesarios para atender a la flota de buques esperable en el atraque con los tráficos unitarios previstos, en las condiciones locales y de explotación del emplazamiento, puede también utilizarse en sentido inverso para estimar la *capacidad* de una línea de atraque; es decir el máximo volumen anual de mercancías que la misma es capaz de manipular en dichas condiciones (C_t). En este caso la formulación a aplicar sería:

$$C_t = \frac{N_a \cdot \Phi \cdot t_{\text{año}} \cdot \sum_i \bar{C}_{u,i}}{\bar{t}_s \cdot \gamma_p}$$

Comentario: A título orientativo, en la actualidad en España los valores medios de capacidades de línea de atraque; es decir, los valores medios de los volúmenes máximos anuales por atraque y por metro lineal de muelle, para tráfico de contenedores considerando muelle continuo, son los siguientes:

Tabla 3.2.1.4. Valores medios, usuales en España (2004), de los volúmenes máximos anuales por atraque y por metro lineal de muelle, para tráfico de contenedores considerando muelle continuo

Nº ATRAQUES	1-2	2-5	5-7	≥ 7
Longitud total	< 500 m	500-1.000 m	1.000-1.500 m	> 1.500 m
TEU/atraque·año	80.000	120.000	170.000	190.000
TEU/m de atraque·año	500	650	775	850

3.2.1.5. Longitud total de la línea de atraque

3.2.1.5.1 USO COMERCIAL, INDUSTRIAL Y MILITAR

La longitud de la línea de atraque y amarre (L_a) se determinará principalmente en función de:

- ◆ Número de atraques necesarios.
- ◆ Alineaciones en que se disponen.
- ◆ Dimensiones de los buques de eslora máxima y tipo que se prevé que operen en la instalación de atraque.
- ◆ Tipo de tráfico.
- ◆ Configuración física del atraque adoptada.
- ◆ Condiciones climáticas locales.
- ◆ Configuración y el tamaño de la dársena, así como tipología estructural de las obras portuarias que la forman.
- ◆ Medios previstos para la maniobrabilidad de los buques.

Para un atraque aislado o dos continuos en cada alineación ($N_{a, \text{alineación}} \leq 2$)

La longitud mínima de la línea de atraque (L_a) debe ser igual a la suma por cada atraque de la eslora correspondiente al buque de máxima eslora (l_0) más los resguardos necesarios entre buques (l_0) y en cada uno de los extremos de la obra de atraque (l_s). Es decir:

$$L_a = N_{a, \text{alineación}} \cdot L_{\text{max}} + (N_{a, \text{alineación}} - 1) \cdot l_0 + 2 \cdot l_s$$

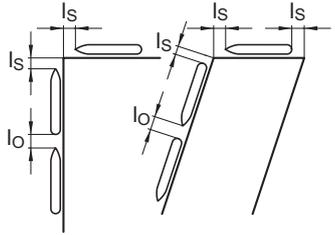
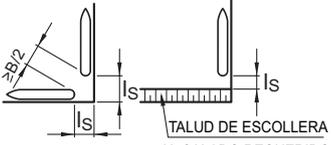
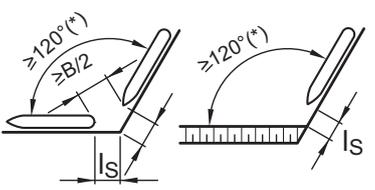
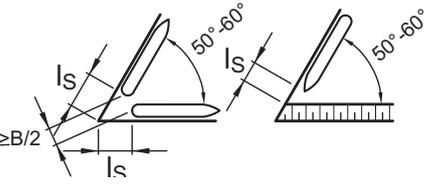
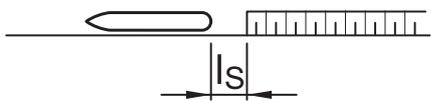
En la tabla 3.2.1.5 se definen los resguardos recomendados para los casos más generales en función de la eslora de dicho buque y de la configuración y tipología estructural de la dársena.

Estas dimensiones consideran el supuesto habitual de que todos los buques atracados puedan dar largos por proa y popa en las condiciones habituales de hasta 45° con el cantil, por lo que podrían ser menores si se modifica este sistema de amarre. A su vez, consideran que los buques no están sometidos a condiciones climáticas muy expuestas o se encuentran en aguas abrigadas. Cuando se consideren otras circunstancias podrán considerarse simplificadaresguardos dobles que los previstos en la tabla 3.2.1.5 o, de forma más precisa, determinar el comportamiento del buque amarrado con la configuración adoptada para el sistema de amarre en las condiciones climáticas consideradas como límite de permanencia del buque en el atraque (Ver apartado 4.6.4.4.7.1.1. En este último caso, además, deberá comprobarse que el buque dispone de área suficiente para la maniobra de atraque y desatraque.

En el caso de atraques para mercancías peligrosas se considerarán mayores resguardos entre buques que los señalados en la tabla 3.2.1.5. Para determinarlos deberán tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- ◆ Las amarras de dos buques atracados en la misma alineación no deben cruzarse, lo cual lleva a la disposición de resguardos dobles, como mínimo, de los recomendados más arriba.
- ◆ Los reglamentos específicos de las mercancías a manipular.
- ◆ El análisis de riesgo en la carga/descarga de la mercancía: riesgo de pérdidas, condiciones de seguridad respecto a otros tráficos próximos, etc.

Tabla 3.2.1.5. Resguardos en planta recomendados en línea de atraque

ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL MUELLE	Valores de las variables en función de la eslora total (L en m.) del barco mayor que afecta a la determinación de la dimensión analizada				
	Mayor de 300	300-201	200-151	150-100	Menor de 100 ⁽¹⁾
1. Distancia "l _o " entre barcos atracados en la misma alineación (m.) 	30	25	20	15	10
2. Separación "l _s " entre barco y cambios de alineación o de tipología estructural (m.) a) 	30	25	20	10	5
b)  <p>TALUD DE ESCOLLERA AL CALADO REQUERIDO POR EL BUQUE DE DISEÑO</p>	45/40	30	25	20	15
c) 	30/25	20	15	15	10
d) 	-/60	50	40	30	20
e) 	20	15	15	10	10

(1) Para buques con eslora total menor de 12 m. se tomará como valor de "l_o" el 20% de "L", reajustándose los restantes valores proporcionalmente.
 (B) Manga del barco mayor que afecte a la determinación de la dimensión analizada.
 (*) El ángulo se entenderá limitado a 160°. Para ángulos mayores se aplicará el (1).

Debido a la necesidad para este tipo de tráficos de altos resguardos entre buques ⁽¹⁰⁾, con el objeto de optimizar la longitud de la obra de atraque suelen ser más convenientes para estas situaciones las soluciones de atraques aislados discontinuos.

Para más de dos atraques continuos en cada alineación ($N_{a,alineación} > 2$)

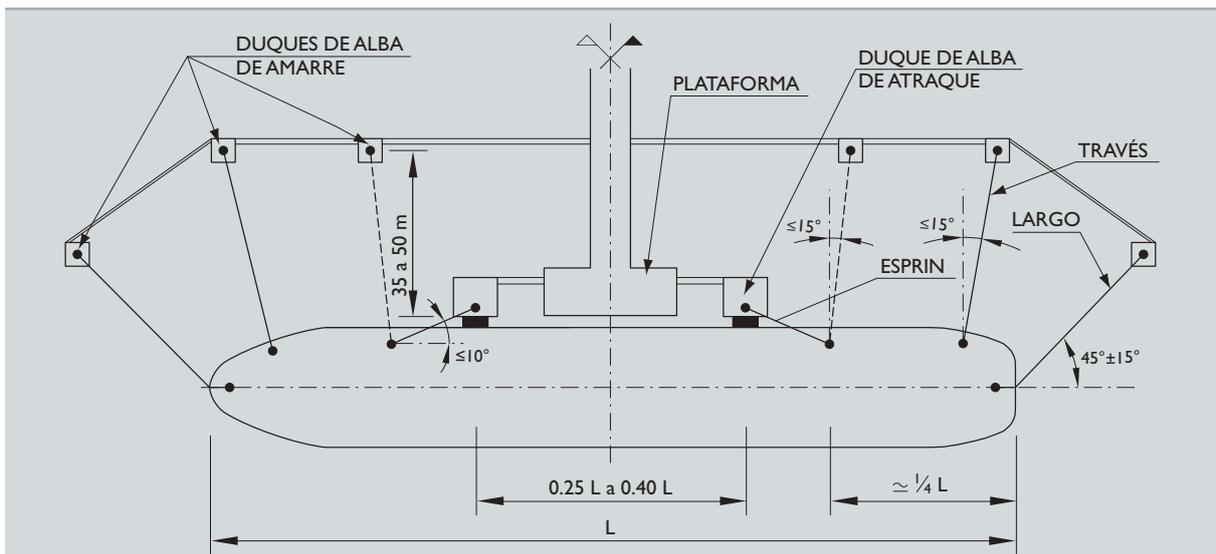
La longitud mínima de la línea de atraque (L_a) debe ser igual a la suma de la eslora correspondientes al buque de máxima eslora (L_{max}) más $(N_{a,alineación} - 1)$ esloras correspondientes al buque de eslora tipo (L_b) definido (en el apartado 4.6.4.4.1) más los resguardos necesarios entre buques (l_0) y en cada uno de los extremos de la obra de atraque (l_s). Es decir:

$$L_a = L_{max} + (N_{a,alineación} - 1) \cdot L_b + (N_{a,alineación} - 1) \cdot l_0 + 2 \cdot l_s$$

definiéndose todos los resguardos en función del buque de eslora máxima, de acuerdo con lo señalado en el apartado correspondiente a atraque aislado o dos continuos.

En pantalanes que conforman líneas de atraque discontinuas respondiendo a soluciones mixtas, para un atraque aislado la dimensión de la línea de atraque formada por los dos duques de alba de atraque extremos no será mayor que $\frac{3}{4} L$ para todos los buques previsible en el atraque con el objeto de que los duques de alba puedan estar en contacto con la parte recta del casco, siendo recomendable que tome un valor comprendido entre $0,25 L$ y $0,40 L$ (Ver Figura 3.2.1). Si estas condiciones no pueden cumplirse para toda la flota de buques de proyecto deberán preverse duques de alba intermedios o defensas intermedias en la plataforma de carga auxiliar. En el caso de que dicha plataforma no constituya parte de la obra de atraque, las dimensiones de la misma se determinarán exclusivamente por las necesidades de los equipos de carga y descarga (equipos fijos instalados en un punto determinado o con posibilidad de rodar para acceder a cualquier punto de las bodegas del buque) o por criterios constructivos. En el caso de atraques discontinuos atracables por ambos lados (pantalán discontinuo) respondiendo a soluciones mixtas también serán aplicables los anteriores criterios.

Figura 3.2.1. Longitud de la línea de atraque en atraques discontinuos aislados



(10) Rangos recomendados para resguardos de seguridad l_0 en atraques para mercancías peligrosas:

- Distancia entre un petrolero o transportador de productos petrolíferos o químicos amarrado y cualquier tipo de buque: 30-100 m.
- Distancia entre un gasero LNG amarrado y cualquier tipo de buque: 50-150 m.
- Distancia entre un gasero LPG amarrado y cualquier tipo de buque: 30-150 m.

Rango recomendado para resguardos de seguridad l_s en atraques para mercancías peligrosas es de 30-100 m.

Rango recomendado para la distancia entre puntos de descarga (manifold) en atraques para buques gaseros LNG y LPG: 200-300 m.

En las formulaciones anteriores no se incluye como longitud del atraque la correspondiente, en su caso, a tacones y rampas. Las dimensiones en planta de tacones y rampas se analizan en el apartado 3.2.1.6.

En el caso de que se incluyan tacones o rampas perpendiculares a la línea de atraque (disposición típica de tacones asociada a configuraciones físicas del atraque tipo pantalán continuo o discontinuo), se considerarán entre éstos y el buque los resguardos previstos para las configuraciones equiparables en la tabla 3.2.1.5, con el objeto de que se disponga de área suficiente para las maniobras de atraque y desatraque y para que el portalón del buque no tenga que ocupar excesivamente en planta el tacón o rampa. Así mismo, a los efectos de la determinación de la longitud de la línea de atraque, la existencia de un tacón o rampa en el extremo de un atraque deberá tratarse como un cambio de alineación.

En el caso de boyas, monoboyas o campos de boyas no se puede hablar con propiedad de longitud del atraque sino de las dimensiones de las áreas de flotación requeridas para cada uno de los amarraderos necesarios. Su dimensionamiento en función de la configuración del amarre adoptada y de otros factores que le afectan es más un problema de configuración marítima, por lo que se incluye en la ROM 3.1. Proyecto de configuración marítima de los puertos.

3.2.1.5.2. USO PESQUERO

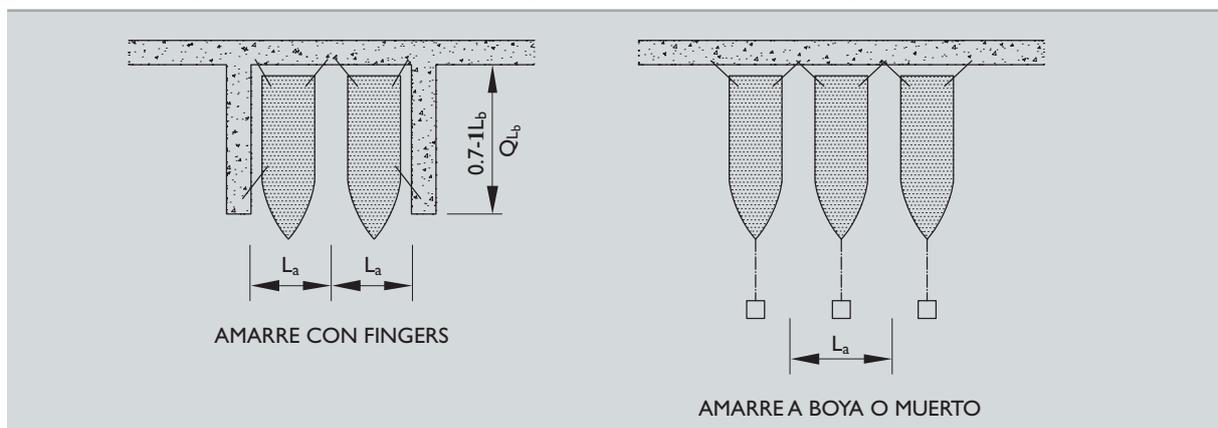
Para el caso de embarcaciones de pesca atracadas de costado, independientemente de que se trate de atraques aislados o múltiples en una única alineación, la longitud de línea de atraque que se asigna a cada embarcación suele oscilar 1.0 y 1.5 veces la eslora del buque de eslora tipo (L_b), siendo los valores máximos aplicables en emplazamientos con carrera de marea significativa o muy expuestos a la acción del viento y/o del oleaje. Con estas longitudes, en muelles de estancia y avituallamiento suele permitirse, en España y en condiciones normales, el abarloado de buques de hasta 3 en fondo, llegando hasta 6 en fondo en condiciones extraordinarias.

El atraque de punta (o a la mediterránea) no suele utilizarse más que para embarcaciones de pequeño porte (pesca artesanal). En estos casos, la determinación de la longitud de atraque L_a sigue las mismas reglas que se exponen en el apartado siguiente para embarcaciones deportivas.

3.2.1.5.3. USO NÁUTICO-DEPORTIVO

Aunque también pueden atracar de costado, generalmente las embarcaciones náutico-deportivas suelen atracar de punta (o a la mediterránea) en muelles o pantalanes fijos o flotantes. El amarre se hace al propio muelle o pantalán y a elementos auxiliares de amarre (fingers) o a boyas o campos de boyas (Ver Tabla 4.6.4.57). La longitud de línea de atraque ocupada dependerá de la manga del buque tipo y de los "clareos" o espacios libres entre barcos, cuya misión es la de permitir las maniobras de atraque/desatraque con facilidad y seguridad y la colocación de pequeñas defensas entre barcos y entre barcos y fingers, en su caso.

Figura 3.2.2. Longitud de la línea de atraque ocupada por una embarcación deportiva atracada de punta



La longitud de línea de atraque (L_a) que se asigna a cada embarcación suele oscilar entre 1.15 y 1.25 veces la manga del buque de manga tipo (definido en el apartado 4.6.4.4.1).

En aquellos casos en que las embarcaciones no atracan de punta, es válida la recomendación de los pesqueros para obtener la longitud de atraque ($L_a = 1$ a $1,5 L_b$).

3.2.1.6. Posición y dimensiones en planta de tacones y rampas

En las instalaciones de atraque en las que se realice total o parcialmente la carga y descarga de buques por rodadura, tanto los muelles como los pantalanes deben complementarse con tacones siempre y cuando alguno de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque realice estas operaciones a través de rampas axiales situadas a proa o popa.

Los tacones son infraestructuras fijas o flotantes, perpendiculares a la línea de atraque, sobre las cuales apoyan las rampas o portalones de proa o popa del buque atracado, bien directamente o a través de rampas.

Para que las operaciones de carga y descarga del buque por rodadura sean posibles o se realicen con seguridad y eficiencia en el rango de variación de los niveles de las aguas exteriores considerados para las condiciones operativas de la instalación de atraque y en cualquier situación de carga del buque, los equipos de manipulación de mercancías por rodadura, los vehículos, camiones, plataformas y unidades de transporte intermodal deberán salvar la diferencia de cota entre la bodega o cubierta de acceso al buque y el nivel de coronación de la instalación en la línea de atraque cumpliendo las dos condiciones siguientes:

- ◆ La pendiente máxima de los planos inclinados no puede superar el 12,5%.
- ◆ Los acuerdos entre planos inclinados debe permitir el paso suave de los equipos de manipulación de mercancías por rodadura, vehículos, camiones, plataformas y unidades de transporte intermodal sin tocar en ningún momento en la obra o el portalón del buque. Para ello, el ángulo entre dichos planos debe estar entre 172° y 187° y la longitud de cada uno de ellos debe ser mayor de 5,0 m si está situado entre planos ascendentes o entre planos descendentes y de 8,0 m si está situado entre un plano ascendente y uno descendente o viceversa en el sentido de la marcha.

Cuando al menos una de las condiciones anteriores no pueda cumplirse mediante un tacón fijo, con uno o varios planos inclinados, será preciso disponer de un tacón flotante y/o de una rampa móvil. En este caso puede optarse entre:

- ◆ Rampa móvil sobre la que apoya el portalón del buque, sustentada en el lado mar mediante estructura fija o flotante, más tacón auxiliar fijo, con o sin planos inclinados.
- ◆ Tacón flotante, sobre el que apoya el portalón del buque.

A estos efectos, deberá conocerse el rango de variación de las siguientes características de la flota de buques esperable en la terminal:

- ◆ Altura del eje de giro del portalón sobre el plano de agua, en lastre y a plena carga.
- ◆ Longitud del portalón.

Como orden de magnitud, en los casos más generales, los buques ro-ro mixtos (ferries y ro-pax) y los buques ro-ro puros PTC (Pure Truck Carrier) disponen de portalones en proa o popa que permiten, con las pendientes máximas admisibles, alcanzar niveles operativos de coronación de tacones y, en su caso, de las rampas en el contacto con el buque entre 1,50 y 3,00 metros por encima del nivel de las aguas exteriores en cualquier situación de carga; aunque también existen buques más pequeños (en general con $\Delta_{PC} < 10.000$ t) que disponen de portalones que cubren únicamente alturas entre 0,25 y 1,75 m. Para estas características de los buques, cuando la diferencia entre los niveles máximo y mínimo de operación adoptados para las aguas exteriores considerando únicamente las oscilaciones del mar de periodo largo (mareas astronómica y meteorológica y, en su caso, regímenes fluviales) o ventana de las aguas exteriores operativa (también denominada venta-

na de marea operativa) ⁽¹¹⁾ supere 1,50 m deberán adoptarse soluciones que incorporen tacones flotantes y/o rampas móviles. En este último caso, la elección entre tacones flotantes con rampas auxiliares móviles o rampas móviles dependerá de muchos factores, aunque principalmente de la disponibilidad de línea de atraque (las rampas móviles necesitan menos espacio que los tacones flotantes) y de la necesidad de desalinear el eje de la rampa con el eje longitudinal del buque por no disponer de un tacón auxiliar, con un frente perpendicular a la línea de atraque para cada uno de los atraques (los tacones flotantes permiten este desalineamiento).

Los tacones fijos podrán dar servicio a un único atraque o a dos situados en una única alineación o en alineaciones contiguas sin reducción de la eficiencia operativa del atraque. Por el contrario, las rampas móviles y, en general, los tacones flotantes dan servicio a un único atraque, sin perjuicio de que puedan compartir, en su caso, el tacón auxiliar fijo.

En general, los buques ro-ro puros del tipo PCC (Pure Car Carrier) y PTCC (Pure Car and Truck Carrier) suelen disponer además de portalones laterales o de portalones $\frac{3}{4}$ que les permiten operar sin necesidad de tacones.

3.2.1.6.1. TACONES FIJOS

Los tacones fijos generalmente son de planta rectangular.

3.2.1.6.1.1. Tacón fijo dando servicio a un único atraque

Para tacón fijo dando servicio a un único atraque las dimensiones en planta son las siguientes (Ver Tabla 3.2.1.6.A.):

- ◆ *Dimensión transversal ($l_{T,tacón}$) en la dirección perpendicular al eje longitudinal del buque:* La dimensión mínima del tacón en la dirección perpendicular al eje longitudinal del buque, medida desde la línea de atraque, será igual a la manga del “buque de manga máxima” de la flota prevista en el atraque (B_{max}), con un mínimo de 32 m, más la distancia entre la línea de atraque y la línea de defensas de atraque sin comprimir (c).
- ◆ *Dimensión longitudinal ($l_{L,tacón}$) en la dirección del eje longitudinal del buque o de la línea de atraque:* La dimensión mínima del tacón en la dirección del eje longitudinal dependerá de las características de los buques de la flota prevista, particularmente en lo que respecta a los niveles operativos que pueden alcanzar sus rampas, de la cota de coronación de la línea de atraque en relación con la ventana de las aguas exteriores operativa adoptada y de la disposición del tacón en relación con el área de operación.

Considerando como cotas de coronación de la línea de atraque las recomendadas en el apartado 3.2.2.1 por criterios de explotación (+2,50 m por encima de los niveles superiores de operatividad definidos

(11) Dados los niveles globales de operatividad mínimos admisibles establecidos por esta Recomendación para las instalaciones de atraque de mercancía general y pasajeros (Ver tabla 3.4.3) teniendo en cuenta todas las causas de paralización operativa (99%), es recomendable considerar que prácticamente no se pueda producir la paralización de las operaciones de carga y descarga por causa de los niveles que pueden alcanzar las aguas exteriores debidos mareas y regímenes fluviales, siendo otras causas de paralización las que realmente determinen el nivel de operatividad de la terminal. Dicho de otro modo, que el nivel que pueden alcanzar las aguas exteriores debido a mareas y regímenes fluviales en el emplazamiento no limitan la operatividad de la instalación. En base a este criterio, a los efectos del dimensionamiento de tacones es recomendable determinar los niveles superior e inferior de las aguas exteriores que definen la ventana de marea operativa asociados a las siguientes probabilidades:

- Para el nivel superior de la ventana de marea operativa se considerará el nivel asociado a una probabilidad de excedencia de 10^{-3} en el régimen medio anual del nivel superior de las aguas correspondiente a mareas y regímenes fluviales en el emplazamiento.
- Para el nivel inferior de la ventana de marea operativa se considerará el nivel asociado a una probabilidad de no excedencia de 10^{-3} en el régimen medio anual del nivel inferior de las aguas correspondiente a mareas y regímenes fluviales en el emplazamiento.

Si no se dispone de los regímenes medios de los niveles de las aguas exteriores correspondientes a mareas en el emplazamiento, simplificadaamente puede considerarse que los niveles de dicho agente utilizados para la definición de la ventana de marea operativa asociados a las probabilidades señaladas son:

- En mares con marea astronómica significativa: la PMVE (Pleamar viva equinoccial) y la BMVE (bajamar viva equinoccial).
- En mares sin marea astronómica significativa: ± 0.5 m respecto al nivel medio del mar.

para las aguas exteriores para buques con más de 10.000 t de desplazamiento a plena carga y +1,50 m para buques de hasta 10.000 t de desplazamiento), la dimensión longitudinal mínima en planta reservada para los tramos inclinados del tacón será con carácter general no mayor de 10,0 -12,50 m respectivamente, de los cuales 4,00 m se corresponden con la zona reservada para el apoyo de la rampa del buque y 1,00 m con la interfase de seguridad en el lado mar, lo que permite el cumplimiento de los gradientes longitudinales requeridos para que puedan realizarse las operaciones de carga y descarga por rodadura (ver apartado 3.2.2.3. Perfil longitudinal de tacones y rampas). En el caso de que la cota de coronación de la línea de atraque esté más alta o más baja que las indicadas, la longitud mínima deberá adaptarse con el objeto de mantener los gradientes longitudinales admisibles.

Con el objeto de permitir que los giros y demás maniobras de las unidades de transporte y de los equipos de manipulación utilizados para las operaciones de carga y descarga por rodadura puedan realizarse con seguridad y eficiencia independientemente de la disposición del tacón en relación al área de operación y de las condiciones de explotación de la instalación de atraque, es recomendable ampliar la dimensión longitudinal mínima del tacón en 15 m más, cuando se considere que la operativa de carga o descarga se realiza con dos carriles en tacón o rampa de acceso al buque; es decir, hasta los 25,0 - 27,5 m para una dimensión longitudinal de los tramos inclinados en planta de 10,0-12,50 m. En el caso de que esta operación pueda realizarse con más de dos carriles tomando en consideración el “buque de manga máxima” de la flota prevista en el atraque, esta dimensión se incrementará en 7,5 m por carril adicional. Asimismo, cuando se prevea la utilización de carretillas elevadoras frontales para la carga y descarga de mercancías del buque, la dimensión longitudinal mínima del tacón deberá ampliarse de 15 a 26 m cuando la operativa se realice con dos carriles, debiéndose ampliar en 13 metros por cada carril adicional.

3.2.1.6.1.2. Tacón fijo dando servicio a dos atraques situados en la misma alineación

Para tacón fijo dando servicio a dos atraques situados en la misma alineación, las dimensiones en planta son las siguientes (Ver Tabla 3.2.1.6.B.):

- ◆ La dimensión mínima del tacón en la dirección perpendicular al eje longitudinal de los buques, medida desde la línea de atraque, ($l_{L,tacón}$), es la misma que la definida para el caso de tacón fijo que da servicio a un único atraque.
- ◆ La dimensión mínima del tacón en la dirección del eje longitudinal de los buques será el doble que la definida para el caso de tacón fijo que da servicio a un único atraque, siendo recomendable que no sea menor de 50-55 m para una dimensión longitudinal en planta de los tramos inclinados correspondientes a cada atraque de 10,0-12,5 m y considerando que la operativa de carga o descarga se realiza con dos carriles en tacón o rampa de acceso al buque.

Estas dimensiones se adaptarán cuando el número de carriles sea mayor de dos o se utilicen carretillas frontales para la carga y descarga de mercancías del buque de acuerdo con los criterios establecidos a estos efectos en el apartado correspondiente a tacón fijo dando servicio a un único atraque.

3.2.1.6.1.3. Tacón fijo dando servicio a dos atraques situados en diferentes alineaciones

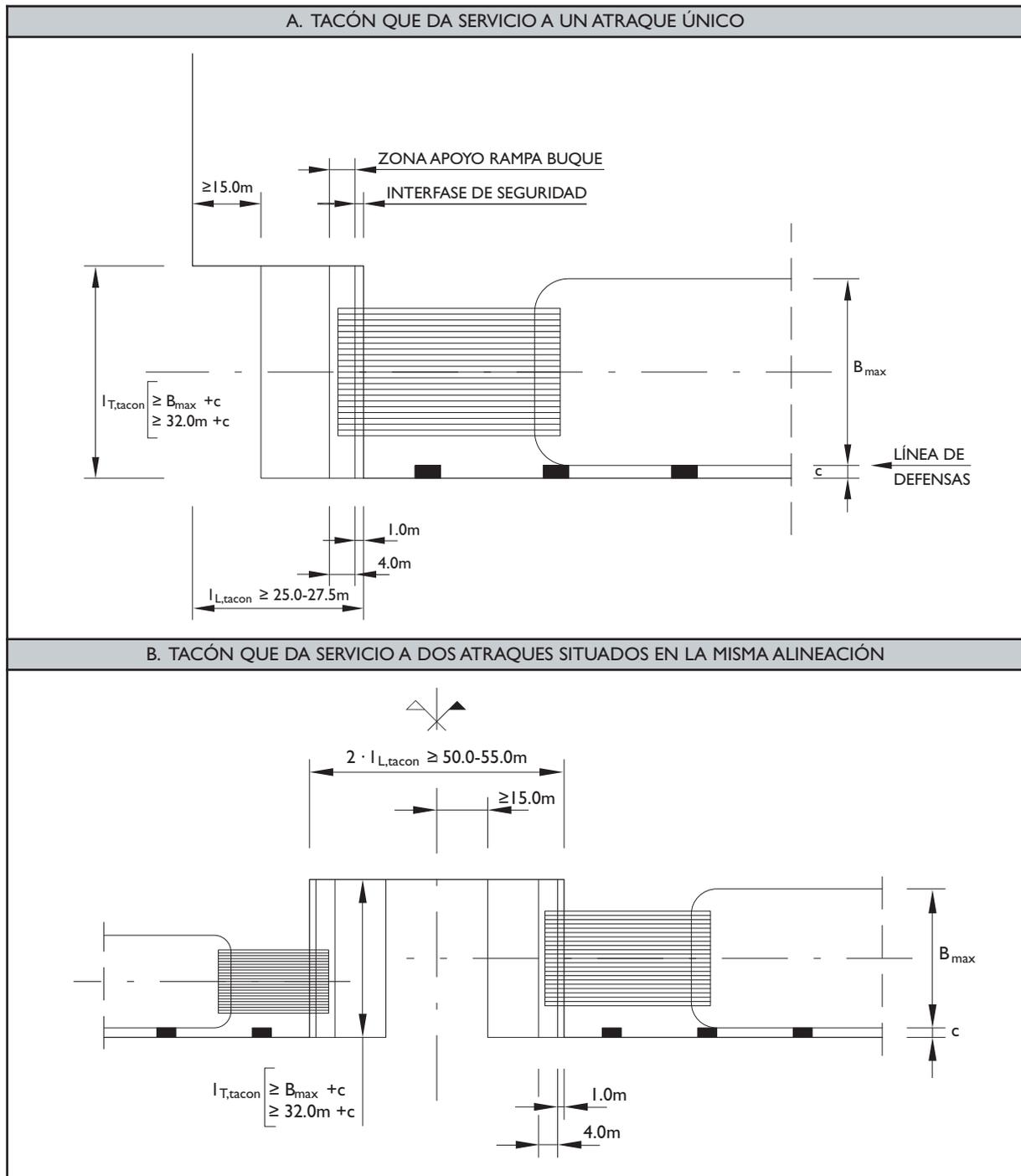
Para tacón fijo dando servicio a dos atraques situados en diferentes alineaciones, las dimensiones en planta son las siguientes (Ver Tabla 3.2.1.6.C.):

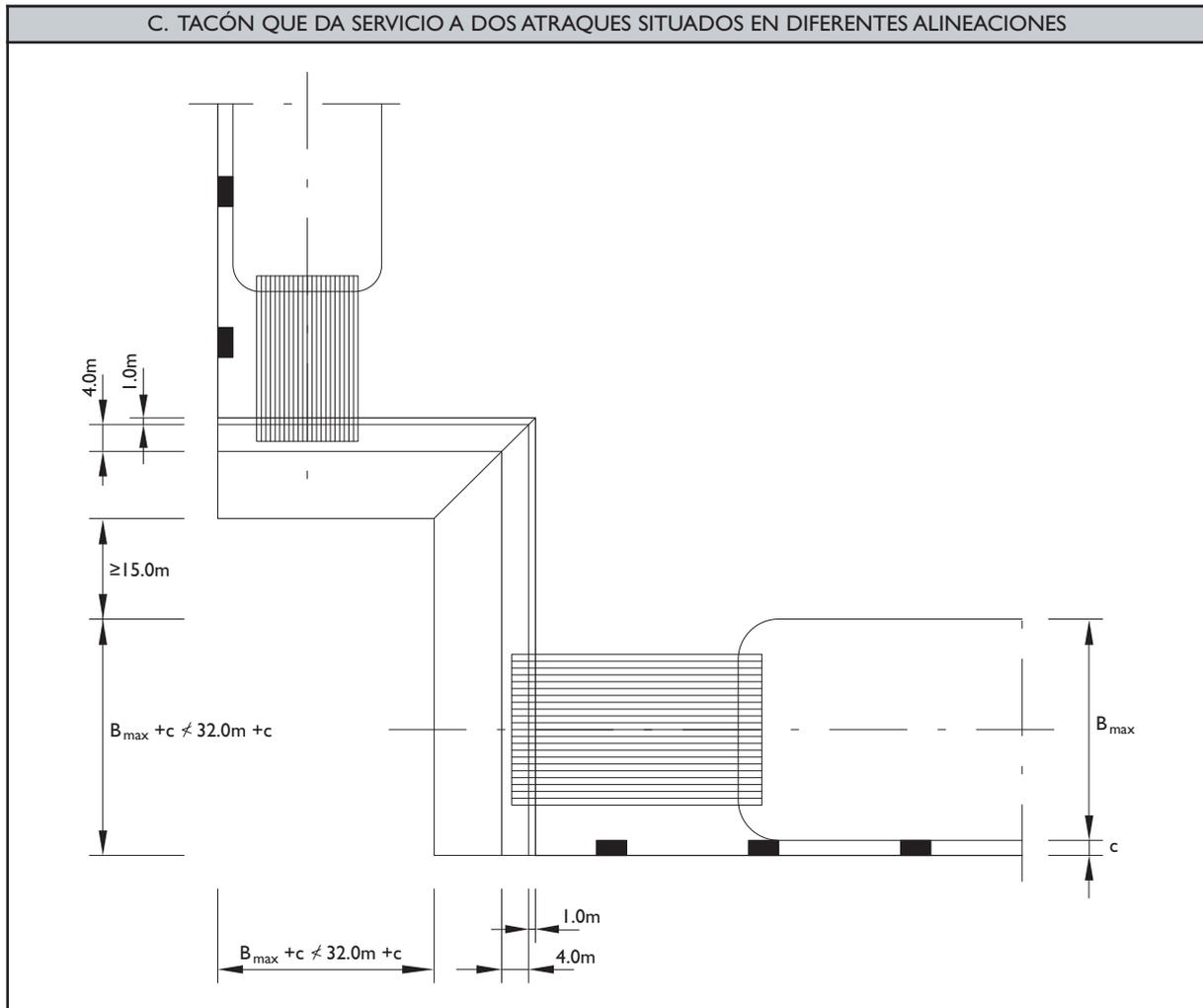
- ◆ Una de las dimensiones ($l_{L,tacón}$), medida desde la correspondiente línea de atraque, será como mínimo igual a la manga del “buque de manga máxima” de la flota prevista (B_{max}), con un mínimo de 32 m, más la distancia entre la línea de atraque y la línea de defensas sin comprimir (c), más la dimensión longitudinal en planta de los tramos inclinados correspondientes a cada atraque, definida de acuerdo con lo dispuesto para el caso de atraque aislado (en general 10,0–12,5 m), más 15 m adicionales para permitir las operaciones de carga y descarga simultáneamente y sin interferencias entre los dos atraques en los casos en los que la operativa de carga o descarga se realice con dos carriles en tacón o rampa de acceso al buque.

- ◆ La otra dimensión ($l_{2,tacon}$) será como mínimo igual a la anterior menos la longitud adicional incluida en la misma para facilitar las operaciones de carga y descarga sin interferencias entre los dos atraques. Es decir: $l_{2,tacon} = l_{1,tacon} - 15 \text{ m}$.

Estas dimensiones se adaptarán cuando el número de carriles sea mayor de dos o se utilicen carretillas frontales para la carga y descarga de mercancías del buque de acuerdo con los criterios establecidos a estos efectos en el apartado correspondiente a tación fijo dando servicio a un único atraque.

Tabla 3.2.1.6. Posiciones y dimensiones en planta de tacones fijos



Posiciones y dimensiones en planta de tacones fijos (continuación)**3.2.1.6.2. RAMPAS MÓVILES CON TACONES AUXILIARES FIJOS****3.2.1.6.2.1. Rampas móviles**

Las dimensiones en planta de las rampas móviles son las siguientes (Ver tabla 3.2.1.7):

- ◆ *Dimensiones transversales de la rampa móvil $l_{T,rampa\ móvil}$ en la dirección perpendicular al eje longitudinal del buque:* La dimensión transversal mínima de la rampa móvil en el borde lado mar será igual a la anchura del portalón mayor para los buques en la flota de proyecto más 3m [ver apartado 4.6.4.4.6.1] o a la manga del “buque de manga máxima” de la flota prevista (B_{max}), con un mínimo de 32 m, medida desde la línea de defensas de atraque sin comprimir, más la máxima deformación de las defensas de atraque (δ_f). Esta dimensión transversal debe mantenerse sin variación en la interfase de seguridad y en la zona reservada para el apoyo del portalón del buque (1,00 m y 5,00 m, respectivamente, en la dirección del eje longitudinal de buque).

El eje de la rampa en la línea de articulación en tierra será perpendicular al borde lado mar de la rampa en el punto medio. La dimensión transversal mínima de la rampa en dicha sección dependerá del número

(12) El número de carriles tiene incidencia en la productividad neta del subsistema de carga y descarga del buque (Ver apartado 3.2.1.4).

ro de carriles de acceso considerado ⁽¹²⁾ más 1,5 m adicionales en cada lado para pasos de servicio y para la ubicación de barreras y elementos de seguridad. Las dimensiones transversales totales mínimas recomendadas en dicha sección son:

- 4.50 m + 3.00 m para un carril.
- 8.00 m + 3.00 m para dos carriles.
- 12.00 m + 3.00 m para tres carriles.
- 16.00 m + 3.00 m para cuatro carriles.

Cuando la rampa sea únicamente para vehículos automóviles, tanto en régimen de mercancía como de pasaje, podrán reducirse las dimensiones de la zona de los carriles en 1,00 m. Asimismo cuando se prevea la utilización de carretillas elevadoras frontales para la carga y descarga de mercancías del buque, deberán aumentarse las dimensiones de cada carril en 8,0 metros.

La transición entre la dimensión transversal de la rampa en el límite interior de la zona reservada para el apoyo del portalón del buque y en la línea de articulación en tierra deberá permitir los giros y maniobras de las unidades de transporte y de los equipos de manipulación con seguridad y eficiencia asociadas con las operaciones de carga y descarga por rodadura. Para ello será suficiente garantizar que son posibles, para la posición más excéntrica del portalón de los buques de la flota del atraque, desviaciones de la trayectoria de las unidades de transporte y equipos de manipulación de 4 (longitudinal) por 1, transversal (ver Tabla 3.2.1.7).

- ◆ *Dimensión longitudinal de la rampa móvil ($l_{L,rampa\ móvil}$) en la dirección del eje longitudinal del buque:* La dimensión mínima de la rampa móvil en la dirección longitudinal será aquella que permita que la pendiente longitudinal entre los niveles de coronación de la rampa en el límite interior de la zona reservada para el apoyo del portalón del buque y el nivel de coronación en la línea de articulación en tierra no supere en ninguna situación el 10%. La dimensión longitudinal entre el borde de la rampa lado mar y el límite interior de la zona reservada para el apoyo del portalón del buque es de 6,0 m, de los cuales 5,0 m corresponden a la zona reservada para el apoyo del portalón y 1,0 m para la interfase de seguridad.

Para su determinación es necesario conocer los niveles máximos y mínimos que va a alcanzar el límite interior de la interfase de seguridad, la pendiente de la zona reservada para el apoyo del portalón del buque y el nivel de coronación de la línea de articulación en tierra de la rampa móvil.

Los niveles de coronación de los bordes lado mar de las rampas móviles deben poder cubrir todo el rango de niveles operativos de los portalones de proa y popa de los buques pertenecientes a la flota esperable en la instalación de atraque.

- *En el caso de rampas móviles sustentadas en el lado mar mediante estructuras fijas que incluyen dispositivos elevadores con capacidad para mover la rampa (Ver Tabla 3.2.2.5),* dados los valores usuales de los niveles operativos de los portalones de proa y popa de los buques sobre el nivel de las aguas exteriores (ver apartado 3.2.1.6), los niveles de coronación del borde de la rampa móvil, medidos en el límite interior de la interfase de seguridad, deben bascular con carácter general entre los siguientes niveles (ver apartado 3.2.2.3. Perfil longitudinal de tacones y rampas), para dar servicio a todo tipo de buques:

- Nivel superior mínimo: nivel superior de la ventana de las aguas exteriores operativa + 1,50 m.
- Nivel inferior máximo: nivel inferior de la ventana de las aguas exteriores operativa + 1,75 m.

Si todos los buques de la flota esperable en el atraque tienen un desplazamiento a plena carga mayor o igual a 10.000 t, los niveles superior mínimo e inferior máximo de la rampa móvil, medidos en el límite interior de la interfase de seguridad, serán:

- Nivel superior mínimo: nivel superior de la ventana de las aguas exteriores operativa + 1,50 m.
- Nivel inferior máximo: nivel inferior de la ventana de las aguas exteriores operativa + 3,00 m.

Si, por el contrario, todos los buques de la flota esperable en el atraque tienen un desplazamiento a plena carga menor a 10.000 t, los niveles superior mínimo e inferior máximo de la rampa móvil, medidos en el límite interior de la interfase de seguridad, serán:

- Nivel superior mínimo: nivel superior de la ventana de aguas exteriores operativa + 0,25 m.
 - Nivel inferior máximo: nivel inferior de la ventana de las aguas exteriores operativa + 1,75 m.
- *En el caso de rampas móviles sustentadas en el lado mar por flotación* (Ver Tabla 3.2.2.6), el francobordo de la rampa en el límite interior de la interfase de seguridad deberá ser no mayor de 1,75 m en la situación de rampa no cargada y no menor de 1.50 m en la situación de rampa totalmente cargada, para que pueda dar servicio a todo tipo de buque.

Si todos los buques de la flota esperable en el atraque tienen un desplazamiento a plena carga mayor o igual a 10.000 t, dicho francobordo debe ser no mayor de 3.00 m para situación de rampa no cargada y no menor de 1,50 m para rampa cargada.

Si, por el contrario, todos los buques de la flota esperable en el atraque tienen un desplazamiento a plena carga menor a 10.000 t, dicho francobordo debe no ser mayor de 1,75 m para situación de rampa no cargada y de 0,25 para rampa cargada.

Por tanto, los niveles de coronación de las rampas a considerar para definir la dimensión longitudinal de las mismas serán en el caso de rampas sustentadas en el lado mar por flotación:

- Nivel superior: nivel superior de la ventana de las aguas exteriores operativa + francobordo máximo de la rampa.
- Nivel inferior: nivel inferior de la ventana de las aguas exteriores operativa + francobordo mínimo de la rampa.

De acuerdo con la dimensión longitudinal y la pendiente recomendada para la zona reservada para el apoyo del portalón del buque (ver apartado 3.2.2.3), *la diferencia de cotas de coronación entre la línea interior de la interfase de seguridad y la interior de la zona reservada para el apoyo del portalón* es de 0.62 m cuando la pendiente entre el nivel de coronación en tierra y el límite interior de la zona reservada para el apoyo del portalón del buque es del 10%.

El nivel de coronación de la línea de articulación en tierra de la rampa podrá localizarse a cualquier cota que, por lo menos, esté 1,50 m por encima del nivel superior de la ventana de las aguas exteriores operativa. Es recomendable situarlo en el nivel que, cumpliendo la anterior condición, dé lugar a la menor dimensión longitudinal de la rampa móvil.

3.2.1.6.2.2. Tacones auxiliares fijos

La línea de articulación en tierra de la rampa móvil se situará en un tacón auxiliar fijo, con o sin planos inclinados en función de que el nivel de coronación de la línea de articulación coincida o no con la cota de coronación de la línea de atraque. Las dimensiones en planta de los tacones auxiliares fijos son las siguientes (Ver tabla 3.2.1.7):

- ◆ *La dimensión transversal en planta del tacón auxiliar fijo* será como mínimo coincidente con la de la rampa en la línea de articulación en tierra.
- ◆ *La dimensión longitudinal mínima en planta del tacón auxiliar fijo* dependerá de la cota de coronación de la línea de atraque en relación con el nivel en que se sitúa la línea de articulación de la rampa móvil, de la disposición del tacón en relación con el área de operación y del número de atraques a los que da servicio el tacón auxiliar fijo (un único atraque, dos en la misma alineación o dos en esquina). En su caso, los planos inclinados contenidos en el tacón auxiliar fijo deberán respetar los gradientes longitudinales

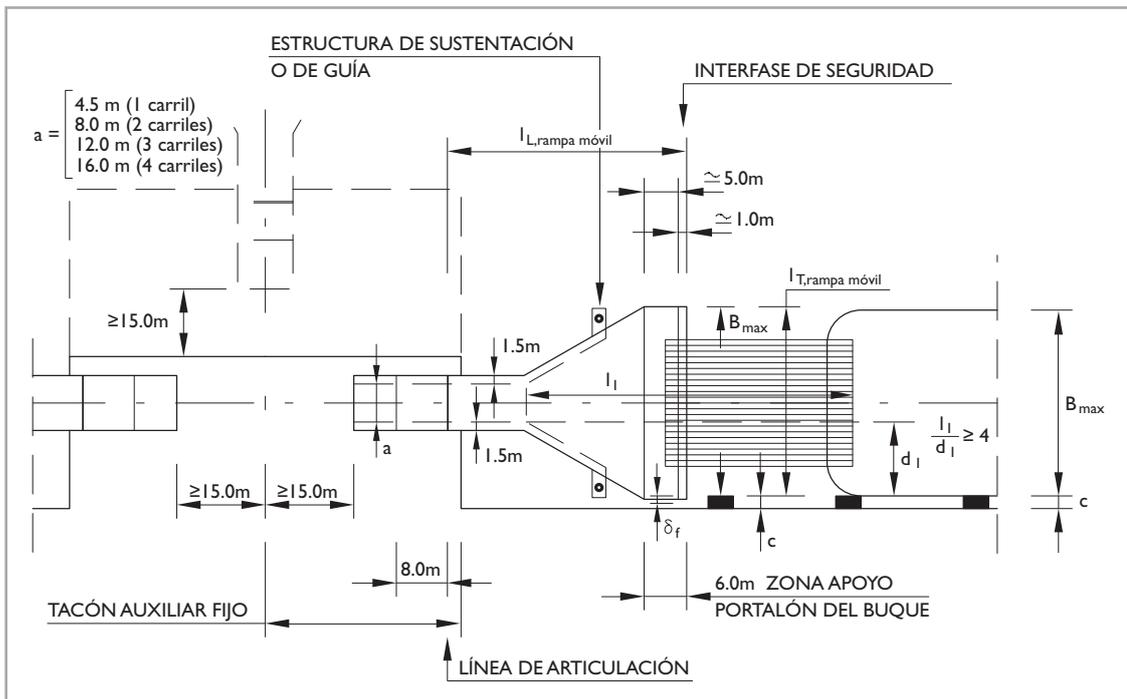
máximos permitidos y los acuerdos necesarios entre planos inclinados: pendiente máxima del 10% y tramo horizontal entre un plano inclinado ascendente y uno descendente mínimo de 8 m (ver apartados 3.2.1.6 y 3.2.2.3. Perfil longitudinal de tacones y rampas).

Para tacón fijo dando servicio a una única rampa móvil, con el objeto de permitir que los giros y demás maniobras de las unidades de transporte y de los equipos de manipulación utilizados para las operaciones de carga y descarga por rodadura puedan realizarse con seguridad y eficiencia, independientemente de la disposición de tacón auxiliar fijo y/o de la rampa en relación al área de operación y de las condiciones de explotación de la terminal, es recomendable ampliar la dimensión longitudinal mínima del tacón en 15 m desde la línea de inicio de los tramos inclinados cuando se considere que la operativa de carga o descarga se realiza con dos carriles en tacón o rampa de acceso al buque.

Estas dimensiones se adaptarán cuando el número de carriles sea mayor de dos o se utilicen carretillas frontales para la carga y descarga de mercancías del buque de acuerdo con los criterios establecidos a estos efectos en el apartado correspondiente a tacón fijo dando servicio a un único atraque.

Para tacón fijo dando servicio a dos rampas móviles en la misma o diferentes alineaciones es recomendable también disponer de esta última zona adicional para facilitar las maniobras de las unidades de transporte y de los equipos de manipulación simultáneamente y sin interferencias entre los atraques, de acuerdo con la disposición recogida en la tabla 3.2.1.7.

Tabla 3.2.1.7. Posición y dimensiones en planta de rampas móviles y tacones auxiliares fijos



3.2.1.6.3. TACONES FLOTANTES Y RAMPAS AUXILIARES

3.2.1.6.3.1. Tacones flotantes

Los tacones flotantes tienen generalmente planta rectangular. Sus dimensiones serán (Ver tabla 3.2.1.8):

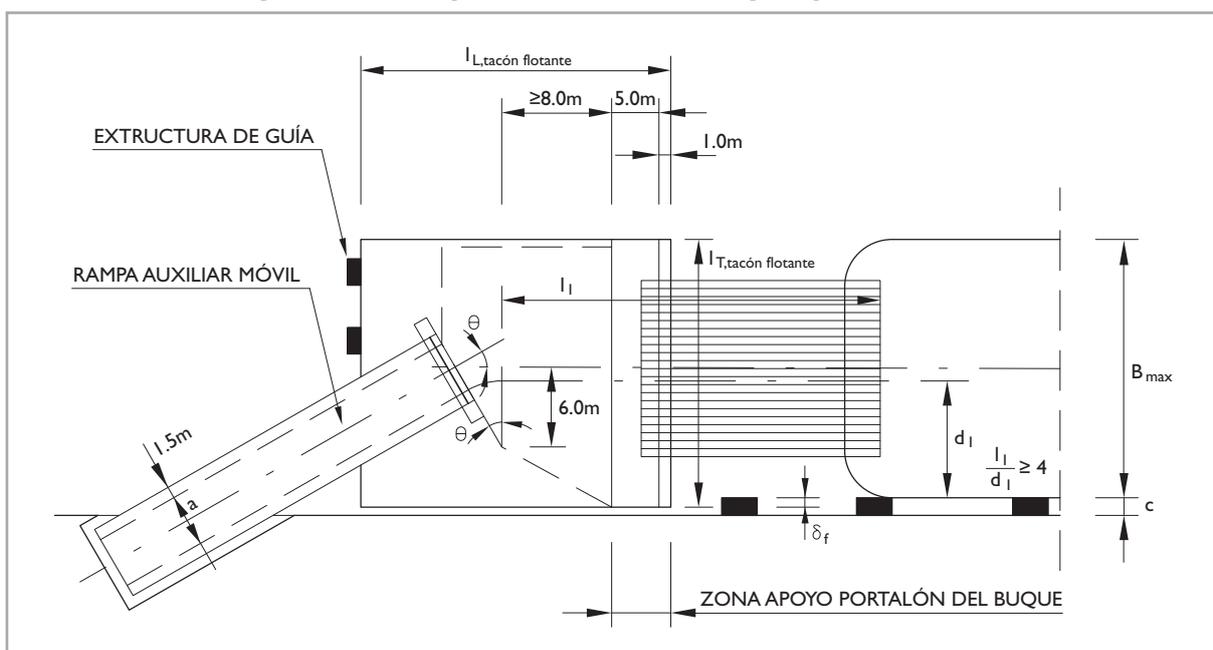
- ◆ *Dimensión transversal del tacón flotante ($l_{T,tacón\ flotante}$) en la dirección perpendicular al eje longitudinal del buque:* la dimensión transversal en planta del tacón flotante en la dirección perpendicular al eje del buque, medida desde la línea de defensas de atraque comprimidas es la misma que la recomendada para el borde lado mar de las rampas móviles.
- ◆ *Dimensión longitudinal del tacón flotante ($l_{L,tacón\ flotante}$) en la dirección del eje longitudinal del buque:* la dimensión longitudinal mínima en planta del tacón flotante en la dirección del eje longitudinal del buque vendrá generalmente condicionada por las necesidades de flotabilidad, de estabilidad y de mantenimiento de los francobordos del tacón. En cualquier caso, como mínimo deberá poder dar cabida a la interfase de seguridad (1,0 m), a la zona reservada para el apoyo del portalón del buque (5,0 m) y a la zona de transición entre la dimensión transversal del tacón en el límite interior de la zona reservada para el apoyo del portalón del buque y la dimensión transversal de la rampa auxiliar en la línea de apoyo de la misma con el tacón, necesaria para permitir los giros y maniobras de las unidades de transporte y de los equipos de manipulación con seguridad y eficiencia asociadas con las operaciones de carga y descarga por rodadura. Las dimensiones transversales de la rampa auxiliar, así como las de la zona de transición, pueden obtenerse a partir de los criterios establecidos a estos efectos en el apartado correspondiente a rampas móviles, tomando en consideración, en su caso, los efectos que pudieran tener en las dimensiones de la zona de transición la posibilidad de que el eje de la rampa auxiliar no sea perpendicular al borde lado mar del tacón flotante.

Con el objeto de mantener los acuerdos necesarios entre los planos de rodadura de la rampa y del tacón flotante, deberá cumplirse adicionalmente que la distancia mínima en la dirección del eje longitudinal del buque entre el límite interior de la zona reservada para el apoyo del portalón del buque y la línea de apoyo de la rampa auxiliar en el tacón flotante no sea menor de 8,0 m.

3.2.1.6.3.2. Rampa auxiliar

La dimensión mínima de la rampa auxiliar será aquella que permita que el gradiente longitudinal entre los niveles de apoyo de la misma en el tacón flotante y en la línea de atraque o, en su caso, en el tacón fijo auxiliar, no supere en ninguna situación el 10% (Ver tabla 3.2.1.8).

Tabla 3.2.1.8. Posición y dimensiones en planta de tacones flotantes y rampas auxiliares



Para su determinación, en primer lugar es necesario conocer los niveles máximos y mínimos que va a alcanzar el límite interior de la interfase de seguridad, así como el desnivel existente entre el límite interior de la interfase de seguridad y el apoyo de la rampa auxiliar en el tacón flotante. Para los niveles superiores e inferiores de coronación del tacón flotante, medidos en el límite interior de la interfase de seguridad, pueden adoptarse los mismos que los definidos para el caso de rampas móviles sustentadas en el lado mar por flotación. Así mismo, de acuerdo con las dimensiones longitudinales y las pendientes recomendadas en cada una de las zonas del tacón flotante (ver apartado 3.2.2.3), puede adoptarse 0,125 m como diferencia de cota entre el límite interior de la interfase de seguridad y la línea de apoyo de la rampa auxiliar en el tacón flotante.

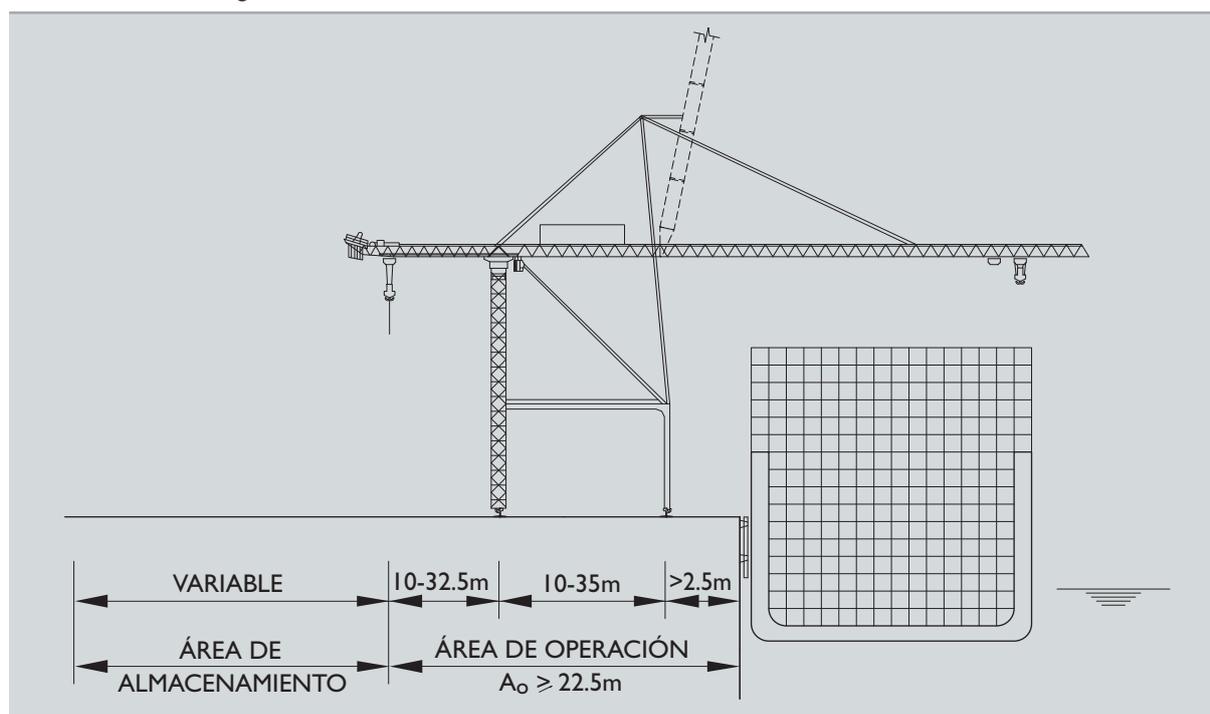
En segundo lugar es necesario conocer el nivel de coronación adoptado para el apoyo de la rampa auxiliar directamente en la línea de atraque o en un tacón auxiliar fijo. En el caso de que la rampa auxiliar móvil se apoye en un tacón auxiliar fijo, el nivel de dicho apoyo podrá localizarse a cualquier cota que, por lo menos, esté 1,50 m por encima del nivel superior de la ventana de marea operativa. Es recomendable situarlo en el nivel, que cumpliendo la anterior condición, de lugar a la menor dimensión longitudinal de la rampa auxiliar. En ese caso para la determinación de las dimensiones del tacón auxiliar fijo serán de aplicación los criterios establecidos a estos efectos en el apartado de rampas móviles.

3.2.1.7. Anchura

La anchura de una obra de atraque y amarre (A_m) se define por la media entre sus dimensiones perpendiculares a la línea de atraque necesaria para que puedan desarrollarse las operaciones portuarias de carga y descarga, depósito y evacuación/recepción de los tráficos previstos, en las condiciones locales de explotación, con el nivel de seguridad y servicio considerado.

A los efectos de la determinación de la anchura necesaria de la obra de atraque y amarre para usos comerciales, se deben distinguir el área de operación, el área de almacenamiento y el área de servicios auxiliares y complementarios (Ver figura 3.2.3):

Figura 3.2.3. Diferenciación de áreas terrestres en una instalación de atraque tipo muelle, con uso comercial y utilizando sistemas de carga y descarga de mercancías mediante equipos de rodadura restringida sobre carriles. Definición de anchuras



3.2.1.7.1. ÁREA DE OPERACIÓN

El área de operación es el área más próxima a la línea de atraque, destinada a las operaciones de carga y descarga de mercancías del buque o al embarque o desembarque de pasajeros del mismo.

Para cada tipo de instalación de atraque definida en términos de configuración física (muelle, pantalán, ...) y de uso (comercial, industrial, pesquero, ...), la disposición general del área de operación, así como sus dimensiones, dependen de los siguientes factores operativos:

- ◆ Las características y número de los equipos de carga y descarga de mercancías del buque y de los equipos para el embarque y desembarque de pasajeros, así como, en los casos de carga y descarga del buque por medios rodantes, los circuitos de vehículos autopropulsados y equipos auxiliares durante las operaciones de carga y descarga del buque.
- ◆ Las características y equipos utilizados para la interconexión interna entre el área de operación y la de almacenamiento o depósito de mercancías.
- ◆ La localización de las zonas para servicios u operaciones auxiliares o complementarios asociados con el buque y con las operaciones de carga y descarga del mismo: almacenamiento temporal de mercancías, depósito de las tapas de bodega del buque, necesidades asociadas con el servicio del buque y del muelle, ...

La anchura de esta zona (A_0) oscilará normalmente entre un valor mínimo de aproximadamente 22,50 m y valores superiores a 100 m, dependiendo de la configuración física del atraque, de los sistemas de manipulación previstos en la línea de atraque y de la operativa establecida para la carga y la descarga y para la interconexión interna entre las áreas de operación y almacenamiento. No obstante, pueden admitirse reducciones de dicho valor mínimo en pantalanes, continuos o discontinuos ⁽¹³⁾, atracables por un solo lado, cuando no se prevea la localización en los mismos de equipos de manipulación de mercancías por elevación ni la carga y descarga del buque por medios rodantes ni el embarque y desembarque de pasajeros, hasta un mínimo de 12,5 m. En el caso que se prevea el embarque y desembarque de pasajeros el ancho mínimo en pantalanes se elevará a 15,0 m. Para la definición de la dimensión más adecuada para esta área se tomarán en consideración los siguientes criterios:

- ◆ *Para configuraciones físicas de la instalación de atraque tipo muelle, con uso comercial y utilizando sistemas de carga y descarga de mercancías, o de embarque y desembarque de pasajeros, mediante equipos de rodadura restringida sobre carriles*
 - a) La distancia entre la línea de atraque y, en su caso, el eje de rodadura del lado de mar de la grúa, del sistema de carga/descarga del buque o de embarque o desembarque de pasajeros considerado no será menor de 2,5 m con el objeto de que puedan disponerse en esta zona los necesarios elementos del sistema de amarre y otros elementos auxiliares del buque (bolardos, etc.), así como los servicios.
 - b) El espacio ocupado por el área de rodadura de los equipos de carga / descarga o los de embarque y desembarque de pasajeros y normalmente por los carriles de circulación necesarios para la transferencia de la mercancía a (o desde) el buque a los medios de transporte terrestre de acuerdo con la operativa establecida o su depósito provisional, así como para las operaciones auxiliares del buque en el atraque. En general, esta distancia oscilará entre 10 m (2 vías de circulación) y 35 m (6 vías de circulación) si se utilizan para la interconexión entre las áreas de operación y almacenamiento unidades tractor-semirremolque o sistemas multiplataforma. En el caso que se utilicen para dicha interconexión carretillas puente, pórtico o lanzadera (straddle carrier y shuttle carrier) las citadas distancias oscilarán entre 15 m (2 vías de circulación) y 39 m (6 vías de circulación). Para tráfico de pasajeros la distancia mínima podrá reducirse a 7,5 m (1 vía).
 - c) Una zona entre el área de rodadura de los equipos de carga /descarga y el límite del área de almacenamiento, cuya anchura variará entre un mínimo de 10 m y unos 32,5 metros, dependiendo del alcance lado tierra de las grúas y del espacio que se reserve para funciones auxiliares como el depósito de las tapas de las bodegas del buque, etc, así como, en su caso, para las operaciones de transferencia de carga. En el caso de que se utilicen grúas pórtico de contenedores no convencionales

(13) En pantalanes discontinuos, la anchura del área de operación se refiere a la anchura de la plataforma auxiliar.

como las de perfil bajo, esta distancia puede superar 100 m. Para tráfico de pasajeros la distancia mínima puede reducirse a 2.5 m.

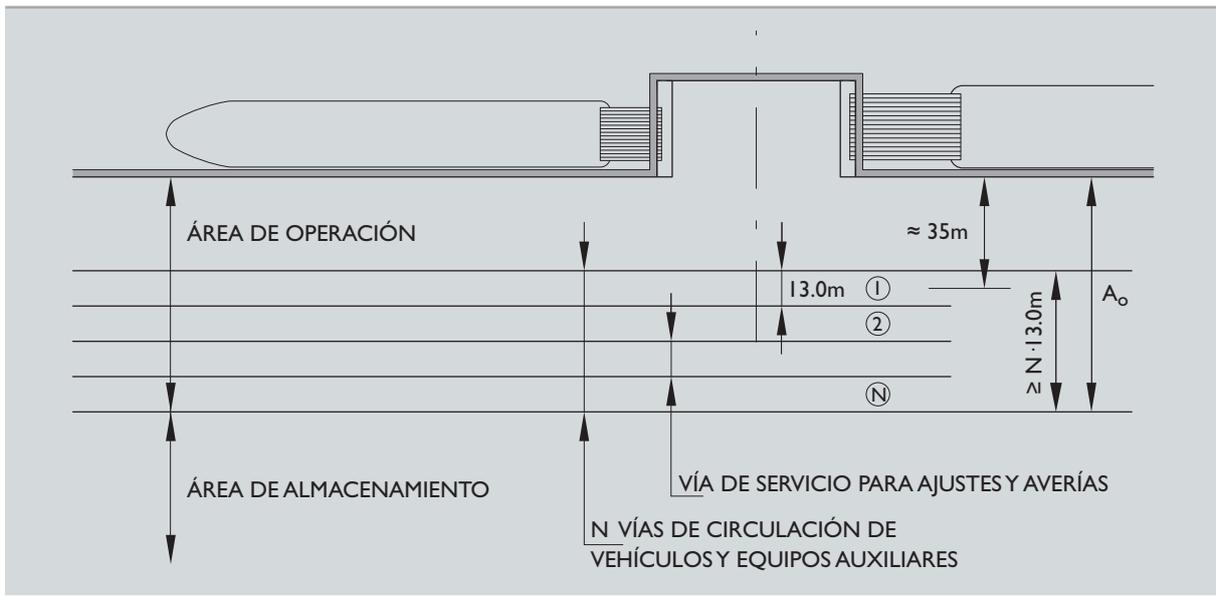
Comentario: De acuerdo con este epígrafe, en el caso particular de una instalación de atraque para uso contenedores, el ancho del área de operación oscilará normalmente entre un valor mínimo de aproximadamente 30,00 metros, cuando se consideren grúas de contenedores para buques feeder de menos de 3.000 TEU de capacidad, y valores superiores a los 70 m, cuando se consideren grúas de contenedores para buques Malacamax de más de 12.000 TEU de capacidad. Incluso pueden presentarse dimensiones mayores (≈ 125.00 m) en el caso de que se adopten grúas de perfil bajo y se considere que la pluma de la grúa en posición de estacionamiento debe mantenerse en el interior del área de operación. La dimensión más común para el área de operación, asociada a grúas de contenedores convencionales con distancias estándar entre carriles de 30,50 m, es del orden 50 m. Estas dimensiones permiten operar hasta con 6 vías de circulación entre patas de grúa para equipos auxiliares de transferencia de carga tipo tractor+semi-remolque (MTS), hasta con 4 para equipos tipo SC (Straddle Carrier) y hasta 5 con equipos AGV (Automatic Guided Vehicle). En todos los casos se considera la disposición de una vía adicional para situaciones imprevistas y para el servicio del buque y del muelle. Asimismo permite el depósito temporal en la zona cubierta por el alcance lado tierra de la grúa de hasta 5 filas de contenedores o de hasta 3 filas de contenedores más la tapa de bodega del buque.

- ◆ Para configuraciones físicas de la instalación de atraque tipo muelle, con uso comercial (excepto pasajeros) y utilizando sistemas de carga y descarga de mercancías por rodadura
 - a) Distancia entre el cantil del muelle y el borde lado mar de la vía de circulación más extrema lado mar de vehículos autopropulsados y, en su caso, equipos auxiliares de transporte y remolque, que forma parte del sistema de interconexión interna entre el subsistema de carga y descarga del buque y el de almacenamiento y depósito, con el objeto de posibilitar el giro de 90° de dichos vehículos y equipos auxiliares sin que se produzca interferencias entre vías de circulación. En función del tipo de tación o rampa las distancias mínimas recomendadas son las siguientes:
 - En configuraciones físicas de la obra de atraque tipo muelle con tacones fijos o rampas móviles apoyadas en tacones auxiliares fijos, para buques operando a través de rampas axiales situadas a proa o popa, se recomienda que la distancia entre la línea de atraque y el eje de la vía de circulación más extrema lado mar sea de unos 35 metros.
 - En configuraciones físicas de la obra de atraque tipo muelle sin tacones (buques operando a través de rampas laterales o $\frac{3}{4}$, así como a través de rampas axiales utilizando tacones flotantes y rampas auxiliares que apoyan directamente en el muelle), se recomienda que la distancia entre la posición más extrema hacia tierra que puede alcanzar la rampa del buque o la rampa auxiliar sobre el muelle y el eje de la vía de circulación más extrema lado mar sea de unos 20 metros.
 - b) Distancia entre los borde lados mar y lado tierra de las vías de circulación más extremas que conforman el sistema de interconexión interna entre el subsistema de carga y descarga del buque y el de almacenamiento y depósito. En función del ancho máximo de los vehículos o equipos auxiliares con carga, el ancho mínimo recomendado para cada vía de circulación será:
 - 3,50 m en instalaciones de atraque dedicadas exclusivamente al embarque y desembarque de vehículos autopropulsados y de elementos de transporte de mercancías que puedan circular por carretera (p.e. terminales import-export de vehículos y terminales asociadas a las “autopistas del mar”).
 - 13,00 m en instalaciones de atraque ro-ro generales en las que se pueda operar con cualquiera de los equipos auxiliares de transporte y remolque.

Para establecer el número de vías de circulación deberá considerarse el número de carriles en tación o rampa de acceso al buque disponibles por atraque para realización simultánea de las operaciones de carga y descarga del buque con los vehículos y equipos auxiliares adoptados, así como la organización de la operativa y de los circuitos de vehículos autopropulsados y, en su caso, de equipos auxiliares asociados a la misma, incluyendo una vía de servicio para ajustes y averías.

Un esquema de las dimensiones en planta del área de operación en una instalación de atraque Ro-Ro prototipo con una configuración física de la obra de atraque tipo muelle con tacones fijos se recoge en la figura 3.2.4.

Figura 3.2.4. Dimensiones recomendables en planta del área de operación en una instalación de atraque tipo muelle con tacones fijos, con uso comercial y utilizando sistemas de carga y descarga por rodadura mediante todo tipo de equipos auxiliares de manipulación



Estas dimensiones también son aplicables a instalaciones de atraque multipropósito ro-ro y pasajeros (terminales ro-pax), ya que la zona de operación entre la línea de atraque y el borde lado mar de las vías de circulación de vehículos y equipos auxiliares tiene las dimensiones suficientes para poder ubicar en la misma, en su totalidad, el tramo final de las pasarelas móviles para el embarque y desembarque de pasajeros, sustentadas normalmente en pórticos de movilidad restringida circulando sobre carriles.

A su vez también son aplicables a instalaciones de atraque de uso comercial multipropósito que utilicen simultáneamente sistemas de carga y descarga de mercancías mediante equipos de rodadura restringida sobre carriles y mediante rodadura (p.e. terminales con-ro) siempre que el número máximo de atraques por alineación sea dos y los circuitos de circulación de vehículos y equipos auxiliares asociados con la operativa de la carga y descarga realizada con los equipos sobre carriles y con las operaciones ro-ro no compartan las mismas zonas del área de operación a lo largo de la línea de atraque. En estos casos la dimensión en planta del área de operación en dirección perpendicular a la línea de atraque en cada una de las zonas asociadas con cada tipo de operativa se obtendrá, respectivamente, de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en los epígrafes correspondientes al dimensionamiento del área de operación correspondiente a cada una de dichas operativas.

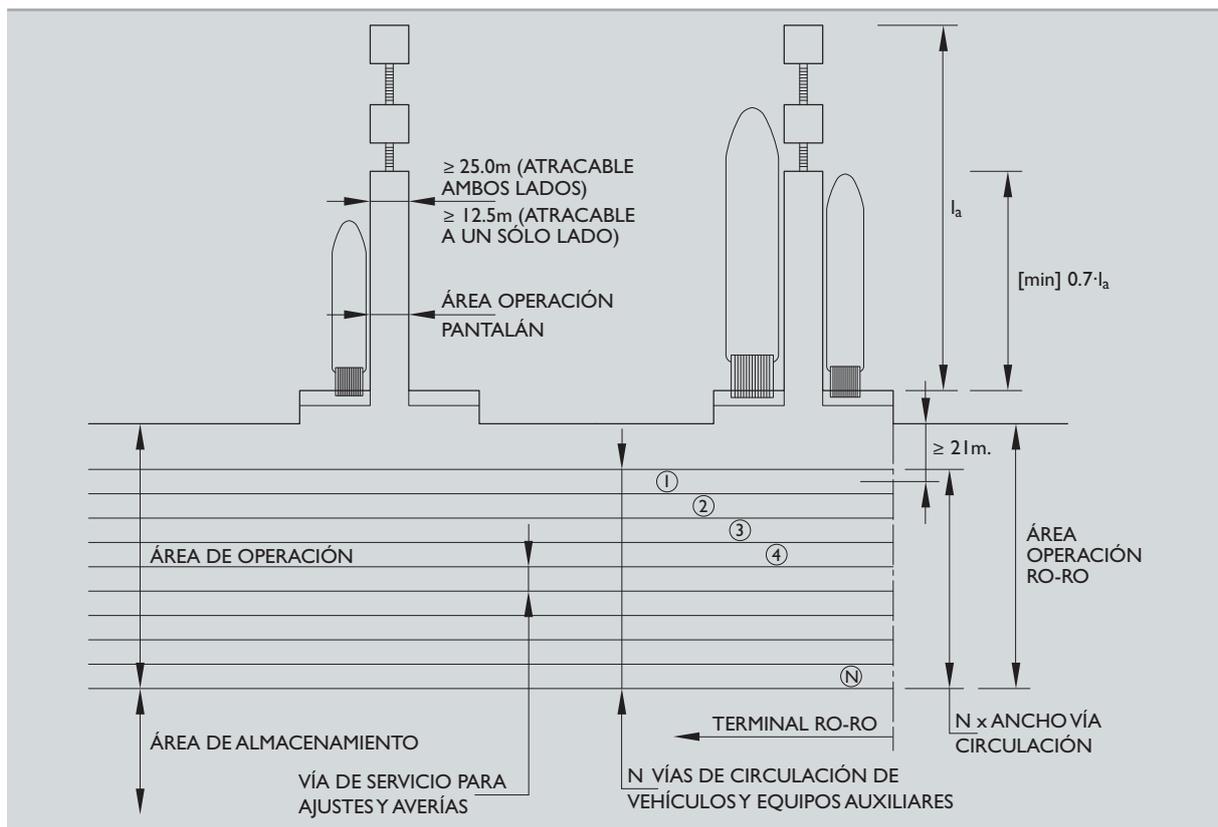
Comentario: De acuerdo con este epígrafe, la dimensión transversal del área de operación en instalaciones de atraque Ro-Ro con configuración física de la obra de atraque tipo muelle, dotadas de tacones fijos o rampas móviles apoyadas en tacones auxiliares fijos, puede ser muy variable en función del número de atraques que forman parte de la terminal y de las características operativas de los subsistemas de carga y descarga del buque y de interconexión interna, oscilando entre un valor indicativo mínimo de aproximadamente 45,0 m en terminales ro-ro dedicadas exclusivamente al embarque y desembarque de vehículos autopropulsados y elementos de transporte de mercancías que puedan circular por carretera (remolques y semirremolques), con dos carriles en tación o rampa por atraque y circuitos de circulación de vehículos y equipos asociados con cada atraque independientes entre sí, hasta valores superiores a 100 m

en terminales ro-ro generales en las que pueda operar cualquiera de los equipos auxiliares de transporte y remolque que se utilizan en este tipo de terminales, con atraques múltiples, con más de dos carriles en tación o rampa por atraque y con circuitos de circulación asociados con cada atraque no independientes entre sí. En las instalaciones de atraque Ro-Ro con configuraciones físicas de la obra de atraque tipo muelle en las que rampas laterales o $\frac{3}{4}$ del buque o rampas auxiliares apoyan directamente sobre el muelle, el valor mínimo del área de operación será aproximadamente de 65,0 m.

- ◆ Para configuraciones físicas de la instalación de atraque tipo pantalán, con uso comercial y utilizando sistemas de carga y descarga por rodadura

En las instalaciones de atraque Ro-Ro con configuraciones físicas de la obra de atraque tipo pantalán, puede considerarse que forman parte del área de operación tanto el propio pantalán, que se utiliza para operaciones asociadas al servicio del buque y del muelle y, en su caso, para el embarque y desembarque de pasajeros, como el espacio perpendicular u oblicuo a la línea de atraque necesario para el desarrollo de las operaciones asociadas con la interconexión entre el subsistema de carga y descarga del buque y el de almacenamiento y depósito (Ver figura 3.2.5).

Figura 3.2.5. Dimensiones en planta del área de operación en una instalación de atraque tipo pantalán atracable por ambos lados, con uso comercial y utilizando sistemas de carga y descarga por rodadura (pantalán no utilizable para el embarque y desembarque de pasajeros)



La determinación de la dimensión transversal de este último espacio se obtiene de igual forma que la descrita para el área de operación de las instalaciones de atraque ro-ro con configuraciones físicas de la obra de atraque tipo muelle, aunque el valor mínimo de la distancia entre la línea de atraque y el eje de la vía de circulación más extrema lado mar puede reducirse, en estos casos, aproximadamente a un 60% respecto al definido para estas instalaciones al ser necesario únicamente un giro de 90° en los vehículos y equipos de manipulación. Por tanto, el valor mínimo del área de operación correspondiente a esta zona en ins-

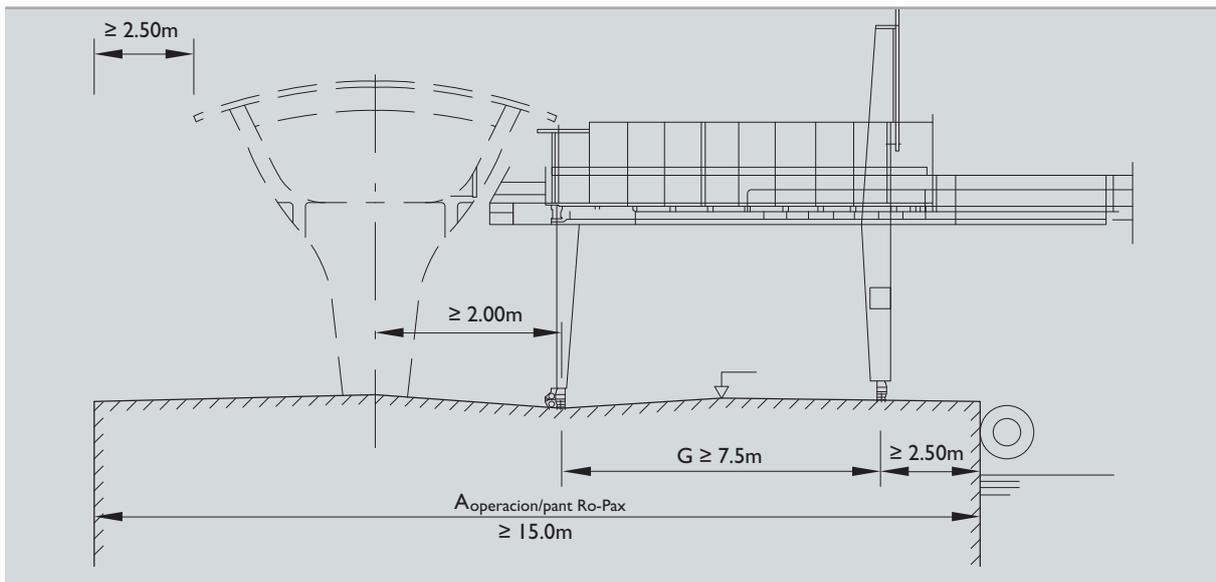
talaciones de atraque dedicadas exclusivamente al embarque y desembarque de vehículos autopropulsados y elementos de transporte de mercancías que puedan circular por carretera (remolques y semirremolques), con dos carriles en tacón o rampa por atraque y circuitos de circulación de vehículos y equipos asociados con cada atraque independientes entre sí, puede reducirse de 45 a, aproximadamente, 30 m.

En el caso de que el pantalán que no sea utilizado para el embarque y desembarque de pasajeros, la anchura mínima del pantalán en la dirección perpendicular a la línea de atraque será de 12,50 m, en el caso de que sea atracable por un único lado, y de 25,0 m si lo es por ambos lados, sin perjuicio de que dicha anchura no deba ser necesariamente homogénea a lo largo de toda la longitud del pantalán (por ejemplo, en el caso de pantalan discontinuos, provistos de duques de alba de atraque y/o amarre en su extremo lado mar). En general, es recomendable que la zona del pantalán accesible al tráfico rodado para servicio del buque, con los anchos recomendados, ocupe por lo menos el 70% de la longitud del atraque.

Un esquema de las dimensiones en planta del área de operación en una instalación ro-ro prototipo con una configuración física de la obra de atraque tipo pantalán se recoge en la figura 3.2.5.

En el caso de que el pantalán que constituye la línea de atraque sea utilizable para el embarque y desembarque de pasajeros, para definir la anchura del pantalán deberán considerarse las siguientes distancias (Ver figura 3.2.6):

Figura 3.2.6. Dimensiones en planta de la parte del área de operación correspondiente al pantalán en una instalación de atraque multipropósito ro-pax estándar con configuración física de la obra de atraque tipo pantalán (atractable por un solo lado)



- La distancia entre el cantil del muelle y el carril lado mar del equipo móvil de embarque y desembarque de pasajeros. Esta distancia no será menor de 2,50 m.
- El espacio entre carriles del equipo móvil de embarque y desembarque de pasajeros. En general esta distancia está en el rango 7,50-10,0 m (Ver tabla 4.6.4.26).
- El espacio entre el eje de la estructura de apoyo de la pasarela elevada fija de acceso al equipo móvil de embarque y desembarque y el carril lado tierra de dicho equipo móvil. La separación mínima recomendable entre el eje del carril del equipo lado tierra y el borde de la estructura de sustentación de la pasarela fija es de 2,0 m.
- La distancia entre el eje de la estructura de apoyo de la pasarela fija y, en su caso, el cantil del lado no atracable del pantalán. Por razones de seguridad marítima, la distancia mínima entre dicho cantil y cualquier parte de la pasarela fija no debe ser menor de 2,50 m.

De acuerdo con estos criterios, la dimensión transversal mínima del pantalán en una instalación de atraque multipropósito Ro-Pax, en la zona accesible al tráfico rodado y a los pasajeros, puede oscilar, en pantalanes atracables a ambos lados, desde 25-30 m, cuando la variación de los niveles de la ventana de las aguas exteriores operativa no sea muy significativa y la composición de la flota prevista en el atraque sea relativamente homogénea, hasta valores superiores a 40-45 m cuando no se produzcan estas circunstancias. En pantalanes atracables a un solo lado, su dimensión transversal mínima puede oscilar entre 15 m y valores superiores a 20-25 metros dependiendo de las circunstancias señaladas.

La dimensión longitudinal del pantalán en una instalación de atraque Ro-Pax, incluyendo las dimensiones de la zona del mismo accesible al tráfico rodado y a los pasajeros, debe cumplir idénticos requerimientos que los establecidos para una terminal Ro-Ro.

3.2.1.7.2. ÁREA DE ALMACENAMIENTO

El área de almacenamiento asociada a una instalación de atraque, también denominada *patio*, es la superficie, no necesariamente aunque si convenientemente situada aneja al área de operación, destinada al almacenamiento temporal de las mercancías. La misión fundamental del área de almacenamiento es compatibilizar los diferentes ritmos existentes entre la carga o descarga en el buque de las mercancías y/o unidades de carga (p.e. contenedores) y/o elementos de transporte (camiones, semirremolques, remolques, ...) y la entrada o salida de dichas mercancías unidades y elementos de transporte del puerto mediante modos de transporte terrestre (viarios y ferroviarios) o también marítimos o de navegación interior. También tiene como misión la realización de operaciones internas de ordenación y control de dichas mercancías, unidades de carga y elementos de transporte necesarios para mejorar la eficiencia de las operaciones asociadas con la carga y descarga de los buques y con el acceso y salida de las mercancías.

Desde el punto de vista infraestructural, esta área está constituida por explanadas que incluyen tanto las zonas propiamente de almacenamiento o depósito temporal como los viales y zonas necesarias para el acceso terrestre (y en su caso a través de navegación interior) de las mercancías y para la interconexión interna con el área de operación.

El diseño y dimensionamiento infraestructural y operativo de las explanadas que conforman el área de almacenamiento debe estar dirigido a compatibilizar la capacidad de almacenamiento requerido en la terminal con la disponibilidad de suelo existente y con los niveles de servicio exigidos (esperas admisibles en los subsistemas de interconexión interna y de acceso terrestre), considerando las características, flujos y rendimientos operativos que se producen en los subsistemas de carga y descarga y de interconexión interna, así como la distribución de llegadas y salidas consecutivas asociadas con las operaciones de entrega y recepción y la distribución de escalas de buques consecutivas. Los principales factores que inciden en el diseño y dimensionamiento del área de almacenamiento son los siguientes:

- ◆ Tipo, dimensiones y características de las mercancías, unidades de carga y/o elementos de transporte manipulados (huellas, disposiciones y alturas máximas de apilamiento, ...).
- ◆ Distribución del volumen de mercancías cargadas/descargadas (tráficos unitarios) por escala (ver apartado 3.2.1.4).
- ◆ Distribución de escalas o de intervalos de tiempo entre llegadas de buques consecutivas (ver apartado 3.2.1.4).
- ◆ Volúmenes anuales y distribución de las mercancías, unidades de carga y/o elementos de transporte manipulados según tipologías, dimensiones y características (régimen import/export/tránsito marítimo ⁽¹⁴⁾, unidades de carga vacías/lleas, completas/no consolidados, elementos de transporte no autopulsados/autopulsados no acompañados /autopulsados acompañados, ...).
- ◆ Organización de la operativa en el área de almacenamiento (disposición en planta de mercancías, unidades y elementos de transporte, altura de apilamiento, número, características y rendimientos de los equipos de manipulación en patio y de interconexión interna, así como los asociados a las operaciones de entrega y recepción, ...).

(14) Se entiende por tránsito marítimo la descarga de una mercancía desde buque a terminal y su posterior carga desde la terminal a otro buque. La mercancía permanece un tiempo en la terminal pero no penetra en el territorio. A este tipo de operación también es denominada en algunos lugares como trasbordo, aunque con rigor este término debe usarse para las operaciones de transferencia directa de la carga entre buque y buque sin pasar por la terminal. El término en lengua inglesa de tránsito marítimo es *transshipment*.

- ◆ Pautas de entrega y recogida de unidades de carga y elementos de transporte, incluyendo la distribución de tiempos de estancia de los mismos en la terminal.
- ◆ Circunstancias socio-laborales (turnos laborales, tiempos efectivos de trabajo, vacaciones, conflictividad laboral, ...).

3.2.1.7.2.1. Capacidad de almacenamiento requerida

La capacidad de almacenamiento necesaria en el área de almacenamiento ($C_{almacenamiento}$), para un determinado volumen anual de mercancía manipulada en el subsistema de carga y descarga de buques (C_t), se define como el número máximo de toneladas de mercancía, unidades de carga y elementos de transporte que pueden acumularse en un instante dado en el área de almacenamiento.

A los efectos del dimensionamiento infraestructural de la terminal, la capacidad de almacenamiento necesaria para cada tipo de mercancía, unidad de carga o elemento de transporte diferenciado que se manipule en una terminal (i = toneladas de mercancía, número de contenedores, de camiones completos, de mercancía embarcada y desembarcada mediante plataformas rodantes o sin ruedas, de vehículos acompañados, ...) depende tanto del volumen de mercancía de ese tipo que se manipule en el subsistema de carga y descarga como de las pautas de entrada y salida de ésta de la terminal, tanto por vía terrestre como por vía marítima. Puede aproximarse a partir de la definición de los siguientes factores:

- ◆ El volumen anual ($C_{t,i}$) de cada tipo de unidad de carga y elemento de transporte a manipular en el subsistema de carga y descarga (Ver apartado 3.2.1.4).
- ◆ Para cada tipo de mercancía, unidad de carga y elemento de transporte, la distribución de dicho volumen anual con el ratio (μ) entre volumen cargado ($C_{tc,i}$) y descargado ($C_{td,i}$), así como entre tráficos en régimen import/export o entrada/salida ($C_{t\ import/export,i}$) y de tránsito marítimo ($C_{t\ transito\ marítimo,i}$).

$$C_{t\ transito\ marítimo,i} = \mu_i \cdot C_{t,i}$$

$$C_{t\ import/export,i} = (1 - \mu_i) \cdot C_{t,i}$$

- ◆ Distribución de escalas o de intervalos de tiempo entre llegadas de buques consecutivas (distribución exponencial con media $1/\lambda_{max}$) y tráficos unitarios medios ($\bar{C}_{u,i}$) de cada tipo de mercancía (Ver apartado 3.2.1.4).

En ausencia de datos más precisos, a los efectos del dimensionamiento del área de almacenamiento puede considerarse suficientemente aproximado la adopción de las siguientes hipótesis simplificadoras respecto a los tráficos unitarios medios:

- La proporción de cada tipo mercancías, de unidades de carga y elementos de transporte manipulados en cada escala, así como su distribución entre tráficos en régimen import/export (entrada/salida) y tránsito marítimo es idéntica para todos los buques, adoptándose el reparto medio que el Promotor estime que se va a producir en los buques esperables en el atraque.

$$\bar{C}_{u\ transito\ marítimo,i} = \mu_i \cdot \bar{C}_{u,i}$$

$$\bar{C}_{u\ import/export,i} = (1 - \mu_i) \cdot \bar{C}_{u,i}$$

- Cuando se considere el tráfico unitario medido en número de unidades de carga o de elementos de transporte (contenedores y ro-ro), los tráficos unitarios medios en carga y descarga correspondientes a los tráficos import-export son idénticos ⁽¹⁵⁾. Es decir:

$$\bar{C}_{ud\ import,i} = \bar{C}_{uc\ export,i} = \frac{(1 - \mu_i) \cdot \bar{C}_{u,i}}{2}$$

(15) Se ha comprobado que el número anual de unidades de carga o elementos de transporte cargados en una terminal es prácticamente el mismo que el número de descargados si se toman en consideración las unidades de carga y elementos de transporte vacíos.

En el caso de graneles sólidos, así como de mercancía general convencional y de contenedores y ro-ro, cuando se considere el tráfico unitario en toneladas, deberá considerarse la proporción que representa en la instalación los tráficos import y export respecto al tráfico total import-export con el objeto de diferenciar los tráficos unitarios en carga y en descarga de acuerdo con dicha proporción. Es decir:

$$\begin{aligned}\bar{C}_{uc\ export, i} &= \rho \cdot (1 - \mu_i) \cdot \bar{C}_{u, i} \\ \bar{C}_{ud\ import, i} &= (1 - \rho) \cdot (1 - \mu_i) \cdot \bar{C}_{u, i}\end{aligned}$$

Siendo ρ la relación de tráficos para exportación (en régimen de salida marítima) respecto al total de tráficos impor-export en la instalación de atraque.

- Para cada tipo de mercancía, unidad de carga y elemento de transporte, los tráficos unitarios medios en carga y en descarga correspondientes a los tráficos en régimen de tránsito marítimo son idénticos. Es decir:

$$\bar{C}_{uc\ tránsito\ marítimo, i} = \bar{C}_{ud\ tránsito\ marítimo, i} = \mu_i \cdot \frac{\bar{C}_{u, i}}{2}$$

- ◆ Para cada tipo de mercancía, unidad de carga y elemento de transporte, la distribución de tiempos de estancia en el área de almacenamiento de las mercancías, unidades de carga y elementos de transporte en régimen de importación o entrada ($t_{imp, i}$) y exportación o salida ($t_{exp, i}$).

En estudios realizados a partir de datos registrados en diferentes tipos de terminales, puede observarse que las distribuciones de los tiempos de estancia de las mercancías, unidades de carga y elementos de transporte en el área de almacenamiento, tanto en régimen de entrada como de salida vía terrestre (tráficos import/export), se aproximan razonablemente a distribuciones del tipo exponencial:

$$\left[f(t_i) = \frac{e^{-\frac{t_i}{\bar{t}_i}}}{\bar{t}_i} \right], \text{ siendo } (\bar{t}_i) \text{ el tiempo medio de estancia.}$$

No obstante, por facilidades de cálculo es admisible considerar conservadoramente que los tiempos de estancia, tanto de las mercancías, unidades de carga o elementos asociados con tráficos de salida como con tráficos de entrada, se ajustan a distribuciones uniformes en el intervalo $[0, t_{max}]$. Es decir:

$$\left[f(t_i) = \frac{1}{t_{i\ max} - t_{i\ min}}, \text{ para } t_{i\ min} = 0 \leq t_i \leq t_{i\ max} \right], \left[f(t_i) = 0, \text{ para } t_i > t_{i\ max} \right]$$

Siendo el tiempo medio de estancia de acuerdo con dicha distribución:

$$\bar{t}_i = \frac{t_{i\ min} + t_{i\ max}}{2} = \frac{t_{i\ max}}{2}$$

En la práctica, equivale a considerar que la entrega o recepción de unidades de carga y elementos de transporte en el área de almacenamiento en régimen import/export tiene lugar de forma uniforme en el periodo $0/t_{i\ max}$.

Los tiempos medios de estancia correspondientes a cada tipo de mercancías, unidades de carga y elementos de transporte, tanto en operaciones de salida como de entrada, pueden tomar valores muy variables, dependiendo principalmente del tipo de mercancías unidades de carga y elementos de transporte que se manipulan en la instalación de atraque, de las características, estructura y grado de desarrollo de su hinterland y de otras condiciones locales relacionados con la explotación de la terminal (p.e. existencia de penalizaciones tarifarias por retrasos en la recogida de la mercancía, ...). Para su determinación es conveniente analizar los registros realizados en terminales de similares características y condiciones locales.

Aunque es muy difícil su generalización debido a la gran variabilidad local que puede resultar de los factores que inciden en los tiempos de estancia, a falta de otros datos más precisos, como primera aproximación para países desarrollados podrán adoptarse los siguientes valores para los tiempos medios de estancia (\bar{t}_i)⁽¹⁶⁾:

- *Contenedores*
 - En régimen de salida (tráficos export): 5 días.
 - En régimen de entrada (tráficos import): 10 días.
- *Mercancía general convencional*
 - En régimen de salida (tráficos export): 8 días.
 - En régimen de entrada (tráficos import): 15 días.
- *Elementos de transporte autopropulsados acompañados*
 - En régimen de salida: 0.2 días.
 - En régimen de entrada: (no se produce el paso del elemento de transporte desembarcado por el subsistema de almacenamiento o depósito).
- *Elementos de transporte no autopropulsados*
 - En régimen de salida: 2 días.
 - En régimen de entrada: 3 días.
- *Elementos de transporte autopropulsados no acompañados (vehículos en régimen de mercancía)*
 - En régimen de salida: 5 días.
 - En régimen de entrada: 10 días.
- *Unidades de carga y otros tipos de mercancía embarcados y desembarcados mediante plataformas rodantes o sin ruedas (cassettes)*
 - En régimen de salida: 5 días.
 - En régimen de entrada: 10 días.
- *Graneles sólidos*
 - En régimen de salida (tráficos export): 10 días.
 - En régimen de entrada (tráficos import): 20 días.⁽¹⁷⁾

La distribución de los tiempos de estancia de las unidades de carga y elementos de transporte en régimen de tránsito tienen una más difícil parametrización y generalización. Sus pautas de comportamiento a estos efectos están relacionadas principalmente con la distribución de las escalas de los buques y con el tipo de líneas marítimas (transoceánicas o feeder) que acceden a la instalación de atraque, su periodicidad y las estrategias de mercado de las navieras (hub/feeder, interliner o hub&relay). No obstante, si consideramos como suficientemente válidas las hipótesis simplificadoras respecto a los tráficos unitarios recogidas en este apartado, puede admitirse que el tiempo medio de estancia de la mercancía en régimen de tránsito marítimo en una terminal es función únicamente de la frecuencia de llegada de buques consecutivos a la terminal [λ_{max}].

Una vez definidos los factores de proyecto señalados, la capacidad de almacenamiento requerida puede obtenerse mediante técnicas de simulación numérica.

Considerando las hipótesis simplificadoras indicadas en este apartado respecto a los tráficos unitarios medios y a las funciones de distribución de los tiempos de estancia de las mercancías, para cada tipo de mercancía, unidad de carga y elemento de transporte diferenciado, la capacidad de almacenamiento requerida ($C_{almacenamiento, i}$) puede aproximarse mediante la siguiente formulación, en función de los regímenes de tráficos asociados a dicha mercancía, unidad de carga o elemento de transporte⁽¹⁸⁾:

(16) En países en vías de desarrollo los tiempos medios de estancia pueden hasta triplicarse respecto a los que se presentan en los países desarrollados.

(17) Si el área de almacenamiento de la terminal de graneles sólidos se utiliza como reserva estratégica los tiempos medios de estancia pueden superar cuatro meses.

(18) Obtenida a partir de la formulación de I.Watanabe (2001).

◆ **Tráficos en régimen import-export exclusivamente ($\mu_i = 0$)**

$$C_{\text{almacenamiento}, i} = C_{\text{almacenamiento tráfico import}, i} + C_{\text{almacenamiento tráfico export}, i} =$$

$$\bar{C}_{ud \text{ import}, i} \cdot \left[2 \cdot \bar{t}_{t \text{ import}, i} + \frac{30}{\lambda_{\max}} + 2 \right] \cdot \frac{\lambda_{\max}}{2 \cdot 30} + \bar{C}_{uc \text{ export}, i} \cdot \left[2 \cdot \bar{t}_{t \text{ export}, i} + \frac{30}{\lambda_{\max}} + 2 \right] \cdot \frac{\lambda_{\max}}{2 \cdot 30} =$$

$$(1 - \rho) \cdot \bar{C}_{u,i} \cdot \left[2 \cdot \bar{t}_{t \text{ import}, i} + \frac{30}{\lambda_{\max}} + 2 \right] \cdot \frac{\lambda_{\max}}{2 \cdot 30} + \rho \cdot \bar{C}_{u,i} \cdot \left[2 \cdot \bar{t}_{t \text{ export}, i} + \frac{30}{\lambda_{\max}} + 2 \right] \cdot \frac{\lambda_{\max}}{2 \cdot 30}$$

Con $\bar{t}_{t \text{ import}, i}$ y $\bar{t}_{t \text{ export}, i}$ expresado en días y siendo λ_{\max} la frecuencia de llegada mensual de buques a la terminal correspondiente al mes de máxima frecuencia.

Por tanto, considerando la relación existente entre el volumen anual de mercancías, unidades de carga o elementos de transporte manipulados en el subsistema de carga y descarga y el tráfico unitario medio correspondientes al tipo de tráfico i (Ver apartado 3.2.1.4):

$$C_{i,t} = \frac{12 \cdot \lambda_{\max} \cdot \bar{C}_{u,i}}{\gamma_p}$$

en una terminal import/export, la relación entre la capacidad de almacenamiento requerida en el área de almacenamiento y el volumen anual de mercancía manipulado en el subsistema de carga y descarga correspondientes al tipo de tráfico i puede expresarse como:

$$C_{\text{almacenamiento}, i} = C_{t,i} \cdot \gamma_p \cdot \frac{\left[(1 - \rho) \cdot \left[2 \cdot \bar{t}_{t \text{ import}, i} + \frac{30}{\lambda_{\max}} + 2 \right] + \rho \cdot \left[2 \cdot \bar{t}_{t \text{ export}, i} + \frac{30}{\lambda_{\max}} + 2 \right] \right]}{365 \cdot 2}$$

◆ **Tráficos en régimen de tránsito marítimo exclusivamente ($\mu_i = 1$)**

$$C_{\text{almacenamiento}, i} = C_{\text{almacenamiento tráfico tránsito marítimo}, i} = \frac{\mu_i \cdot \bar{C}_{u,i}}{2} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot \lambda_{\max}}{30} \right] = \frac{\bar{C}_{u,i}}{2} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot \lambda_{\max}}{30} \right]$$

Considerando la relación existente entre el volumen anual de mercancías, unidades de carga o elementos de transporte manipulados en el subsistema de carga y descarga y el tráfico unitario medio recogida en el párrafo anterior, en una instalación de atraque de tránsito marítimo la relación entre la capacidad de almacenamiento requerida y el volumen anual de mercancía manipulado en el subsistema de carga y descarga correspondientes al tráfico i puede expresarse como:

$$C_{\text{almacenamiento}, i} = C_{t,i} \cdot \gamma_p \cdot \frac{\left[1 + \frac{2 \cdot \lambda_{\max}}{30} \right]}{24 \cdot \lambda_{\max}} = C_{t,i} \cdot \gamma_p \cdot \frac{\left(\frac{30}{\lambda_{\max}} + 2 \right)}{365 \cdot 2}$$

◆ **Tráficos en régimen mixto ($0 < \mu_i < 1$)**

$$C_{\text{almacenamiento}, i} = C_{\text{almacenamiento tráfico import}, i} + C_{\text{almacenamiento tráfico export}, i}$$

$$+ C_{\text{almacenamiento tráfico tránsito marítimo}, i} = (1 - \mu_i) \cdot (1 - \rho) \cdot \bar{C}_{u,i} \cdot \left[2 \cdot \bar{t}_{t \text{ import}, i} + \frac{30}{\lambda_{\max}} + 2 \right] \cdot \frac{\lambda_{\max}}{2 \cdot 30} +$$

$$(1 - \mu_i) \rho \cdot \bar{C}_{u,i} \cdot \left[2 \cdot \bar{t}_{t \text{ export}, i} + \frac{30}{\lambda_{\max}} + 2 \right] \cdot \frac{\lambda_{\max}}{2 \cdot 30} + \frac{\mu_i \cdot \bar{C}_{u,i}}{2} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot \lambda_{\max}}{30} \right]$$

Considerando la relación existente entre el volumen anual de unidades de carga y elementos de transporte manipulados en el subsistema de carga y descarga y el tráfico unitario medio correspondiente al

tipo de tráfico i recogida en los párrafos anteriores, en una terminal mixta (con tráficos import/export y tráficos de tránsito marítimo) la relación entre la capacidad de almacenamiento requerida y el volumen anual de mercancía manipulado en el subsistema de carga y descarga correspondientes al tráfico i puede expresarse como:

$$C_{\text{almacenamiento}, i} = C_{t,i} \cdot \gamma_p \cdot \frac{(1 - \mu_i) \cdot \left[(1 - \rho) \cdot \left[2 \cdot \bar{t}_{t \text{ import}, i} + \frac{30}{\lambda_{\text{max}}} + 2 \right] + \rho \cdot \left[2 \cdot \bar{t}_{t \text{ export}, i} + \frac{30}{\lambda_{\text{max}}} + 2 \right] \right] + \mu_i \cdot \left(\frac{30}{\lambda_{\text{max}}} + 2 \right)}{365 \cdot 2}$$

Como puede inferirse de la aplicación de esta formulación, en igualdad de condiciones en lo que respecta al volumen anual de mercancías a manipular en el subsistema de carga y descarga del buque y a la frecuencia de escalas de buques, la capacidad de almacenamiento requerida en el área de almacenamiento en las terminales que mueven mercancías exclusivamente en régimen de tránsito marítimo es mucho menor que la requerida en las terminales exclusivamente para tráficos import/export. La diferencia entre ellas aumenta al aumentar los tiempos medios de espera de los tráficos import/export.

La capacidad de almacenamiento total requerida en el área de almacenamiento será la suma de la requerida para cada tipo de mercancía, unidad de carga o elemento de transporte diferenciado que se manipule en la instalación de atraque. Es decir:

$$C_{\text{almacenamiento}, \text{total}} = \sum_i C_{\text{almacenamiento}, i}$$

3.2.1.7.2.2. Superficie de almacenamiento requerida

Determinada la capacidad de almacenamiento requerida ($C_{\text{almacenamiento}, i}$) de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 3.2.1.7.2.1, la superficie ($S_{\text{almacenamiento}, i}$) del área de almacenamiento para cada tipo de mercancía, unidad de carga o elemento de transporte diferenciado (i) puede definirse a través de la siguiente formulación:

$$S_{\text{almacenamiento}, i} = \frac{N_{\text{huellas}, i}}{I_{\text{huella}, i}} = \frac{C_{\text{almacenamiento}, i}}{I_{\text{huella}, i} \cdot c_{\text{huella}, i}}$$

Siendo:

$N_{\text{huellas}, i}$: número de huellas o slots. La relación entre el número de huellas y la capacidad de almacenamiento requerida es:

$$N_{\text{huella}, i} = \frac{C_{\text{almacenamiento}, i}}{c_{\text{huella}, i}}$$

Siendo:

$c_{\text{huella}, i}$: capacidad de almacenamiento unitaria por huella, correspondiente al tráfico i . Es decir, toneladas, unidades de carga o elementos de transporte por huella.

En el caso de unidades de carga (p.e. contenedores) o elementos de transporte (p.e. camiones completos o UTI), cuando la capacidad de almacenamiento requerida se exprese en número de dichas unidades o elementos, este parámetro coincide con el nivel medio de apilamiento (\bar{h}_i = número medio de unidades de carga o de elementos de transporte apilados en altura. P.e. TEU/huella). Es decir, $c_{\text{huella}, i} = \bar{h}_i$

En el caso general:

$$c_{huella,i} = \gamma_i \cdot \bar{h}_i \cdot s_{huella,i}, \text{ expresado en t/huella }^{(19)}$$

Siendo:

γ_i : Peso específico aparente de la mercancía correspondiente al tráfico i . Los valores representativos de este parámetro se consignan en la tabla 4.6.4.2 para los distintos tipos de mercancía.

\bar{h}_i : Nivel medio de apilamiento en huella correspondiente al tráfico i (altura media de apilamiento de la mercancía, número medio de unidades de carga o de elementos de transporte apilados en altura).

El nivel medio de apilamiento (\bar{h}_i) es función de las características de las mercancías y del sistema de transporte horizontal y almacenamiento adoptado en el área de almacenamiento, así como, en el caso de unidades de carga y elementos de transporte, del número de remociones, posicionamientos y otros movimientos de los mismos en el interior del subsistema de almacenamiento debido a necesidades operativas. \bar{h}_i se expresa en metros o en número de unidades en altura en el caso de unidades de carga o elementos de transporte cuando la capacidad de almacenamiento requerida se expresa en número de dichas unidades o elementos.

Las alturas máximas de apilamiento de mercancías, unidades de carga y elementos de transporte usuales en explanadas exteriores portuarias se recogen en la tabla 4.6.4.3, así como en las tablas 4.6.4.17 y 4.6.4.24 para unidades de carga en función de los equipos de almacenamiento adoptados.

La relación entre la altura máxima de apilamiento y la altura media en el caso de un granel sólido almacenado en explanadas depende del tamaño de la huella adoptada para el almacenamiento y del talud natural del granel (Ver tabla 4.6.4.2). En ausencia de datos más precisos puede considerarse $\bar{h}_i = 0.8h_{a\max,i}$. En el caso de unidades de carga (p.e. contenedores) y elementos de transporte (p.e. camiones completos o UTI) depende fundamentalmente de las remociones, posicionamientos y otros movimientos de los mismos establecidos en la instalación por necesidades operativas.

En el caso de unidades de carga y elementos de transporte, a falta de otros datos específicos obtenidos de terminales de características similares, para niveles máximos de apilamiento superior a la unidad puede considerarse con carácter general que el nivel medio de apilamiento oscila entre 0,60 y 0,80 el valor del nivel máximo. Los mayores valores pueden adoptarse cuando la secuencia de llegadas o salidas son más previsibles (p.e. destinos homogéneos, acceso terrestre a través de transporte ferroviario). Para niveles máximos de apilamiento igual a la unidad puede considerarse que el nivel de apilamiento medio coincide con el máximo para elementos de transporte autopropulsados y que es 0,90 para el resto de unidades de carga y elementos de transporte.

$s_{huella,i}$: superficie neta de la huella o superficie neta de apilamiento, correspondiente al tráfico i , expresada en m².

Las dimensiones recomendadas de huellas para distintos tipos de unidades de carga y elementos de transporte son:

- Contenedores con sistema de manipulación en patio tipo plataforma de camión (en este caso cada huella equivale a 2 TEU): 13,50 x 3,50 m².
- Contenedores con sistema de manipulación en patio tipo carretilla elevadora (forklift truck) /apiladora (Reachstackers): 6,40 x 2,75 m².
- Contenedores con sistema de manipulación en patio tipo carretilla puente o pórtico (straddle carrier): 6,40 x 2,45 m².
- Contenedores con sistema de manipulación en patio tipo pórticos (sobre neumáticos o carriles: RTG, ASC, RMG): 6,10 x 2,75 m².

(19) En el caso de contenedores, cuando la capacidad de almacenamiento requerida se exprese en t, el producto $\gamma_i \cdot \bar{h}_i \cdot s_{huella,i}$ se sustituirá por el peso medio de la columna de contenedores de 20' en función de la altura de apilamiento. Las funciones de distribución de los pesos de las columnas de contenedores en España se consignan en el apartado 4.6.4.1.

- Camiones completos: 16,50 x 3,0 m².
- Unidades de transporte intermodal: remolques y semirremolques (UTI): 16,0 x 3,00 m².
- Automóviles: 5,00 x 2,50 m².

En el caso de otros tipos de mercancías, las dimensiones y forma de las huellas son muy variables, dependiendo de los sistemas y equipos de manipulación en patio y de interconexión interna adoptados y de la organización operativa del área de almacenamiento compatible con dichos equipos.

$I_{huella,i}$: índice de ocupación, definido como el número de huellas o slots por unidad de área correspondiente al tráfico i , considerando tanto la superficie neta de apilamiento como los viales internos necesarios para poder desarrollar las operaciones.

Este parámetro depende la disposición general de huellas establecida, compatible con los sistemas de manipulación utilizados en el área de almacenamiento, así como de los circuitos de los equipos de transporte horizontal adoptados asociados a las operaciones de interconexión interna entre el área de almacenamiento, el área de operación y los accesos terrestres (Ver ejemplo de disposición de huellas y circuitos de equipos asociados a la misma en la figura 3.2.7).

Valores usuales de este parámetro en terminales de contenedores se incluyen en la tabla 3.2.1.9.

Tabla 3.2.1.9. Índices de ocupación usuales en áreas de almacenamiento de terminales para tráfico de contenedores

SISTEMAS DE MANIPULACIÓN EN ÁREA DE ALMACENAMIENTO	DISPOSICIÓN GENERAL DE HUELLAS	ÍNDICE DE OCUPACIÓN ($I_{huella,i} = n^{\circ}$ huellas/ha)
PLATAFORMAS DE CAMIÓN	Perpendiculares a la línea de atraque	100-110
	Paralelas a la línea de atraque	115-120
CARRETILLAS ELEVADORAS FRONTALES (Forklift trucks-FLT) O APILADORAS (Reachstackers-RS)	Perpendiculares a la línea de atraque	200-220
	Paralelas a la línea de atraque	230-240
CARRETILLAS PUENTE O PÓRTICO (Straddle carriers-SC)	Perpendiculares a la línea de atraque	250-350
	Paralelas a la línea de atraque	270-310
PÓRTICOS SOBRE NEUMÁTICOS O CARRILES (Ruber tyred gantry-RTG y Rail mounted gantry-RMG, Automatic Staking Cranes-ASC)	Perpendiculares a la línea de atraque	> 300
	Paralelas a la línea de atraque	250-280

La superficie total de almacenamiento será la suma de todas las superficies parciales (S_i) que se requieren para cada una de las mercancías manipuladas (i).

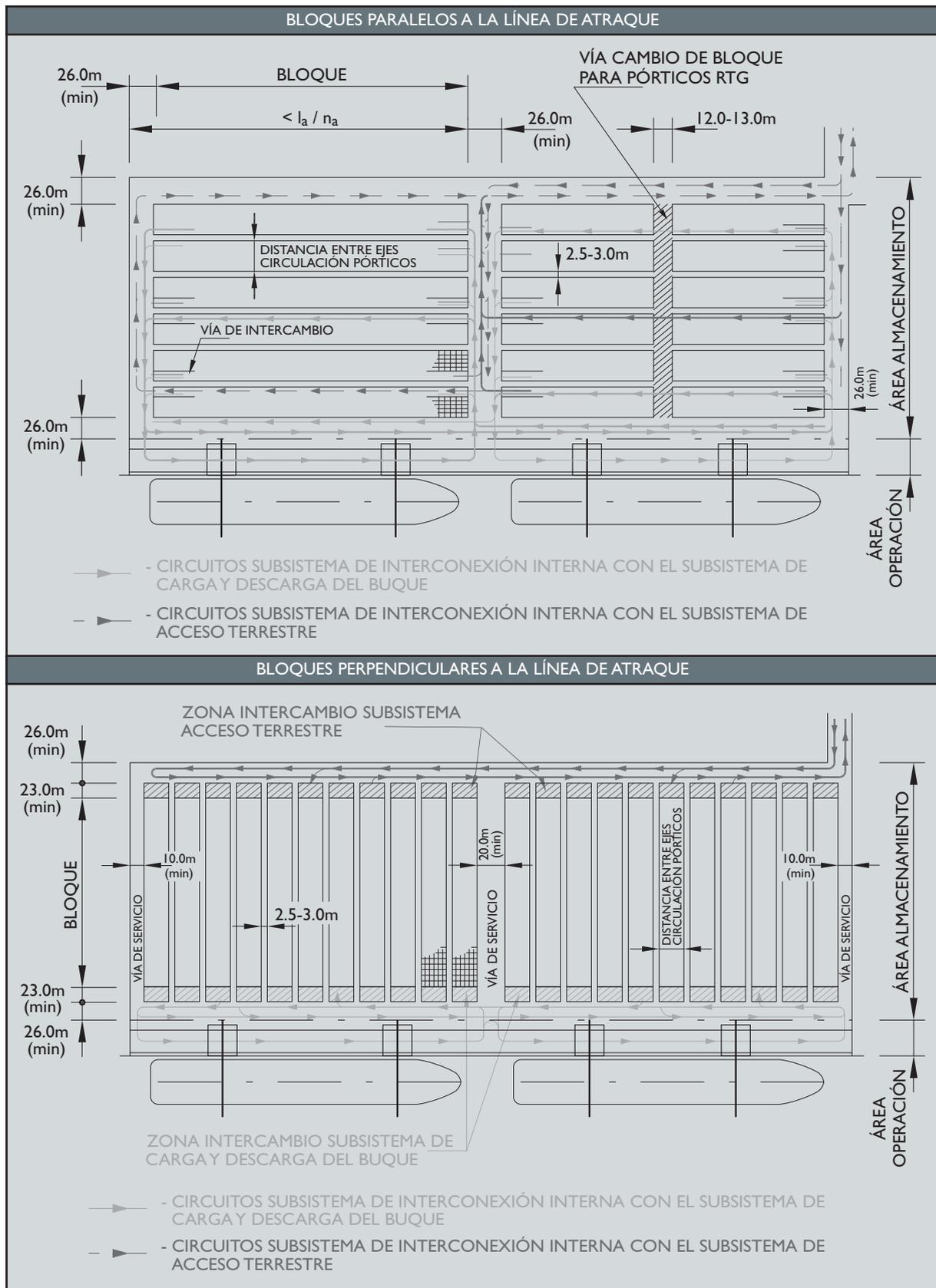
Comentario: A título orientativo, para tráficos de contenedores en la actualidad en España son usuales valores $S_{almacenamiento,i}/C_{almacenamiento,i}$ del orden de 12 a 20 m²/TEU, lo que equivale en terminales con tráficos fundamentalmente import-export a relaciones $S_{almacenamiento,i}/C_{t,i}$ del orden de 0,55 a 1,00 m² por TEU/año, lo que da lugar a anchuras medias del área de almacenamiento entre 400 y 500 metros. En terminales fundamentalmente con tráficos en régimen de tránsito marítimo el rango de valores de $S_{almacenamiento,i}/C_{t,i}$ y, por tanto, las anchuras medias son manifestamente menores.

3.2.1.7.3. ÁREAS DE SERVICIOS AUXILIARES Y COMPLEMENTARIOS

En las áreas de servicios auxiliares y complementarios se desarrollan actividades que complementan la actividad de la instalación de atraque, favorecen su eficiencia en diferentes aspectos o suponen una actividad logística de valor añadido relacionada con el tráfico marítimo que se desarrolla en la misma. Algunos de estos servicios complementarios son los siguientes:

- ◆ Servicios administrativo y de control de las operaciones de la terminal.

Figura 3.2.7. Disposiciones estándar de huellas (Slots) y viales de circulación para sistemas de manipulación en área de almacenamiento tipo pórtico



- ◆ Servicios de inspección (aduaneros, sanitarios y fitosanitarios, de seguridad, ...)
- ◆ Servicios de mantenimiento o reparación de equipos de manipulación, de elementos de transporte y/o de unidades de carga.
- ◆ Servicios generales (limpieza de contenedores, estación de servicio, subestación eléctrica, servicios complementarios a los modos de transporte: zonas de descanso y aseo para conductores, ...).
- ◆ Servicio de almacenamiento o *depots* de contenedores vacíos.
- ◆ Servicio de consolidación y desconsolidación de mercancías en el que se produce, en su caso, el grupaje o la ruptura de carga ⁽²⁰⁾.

Las áreas de servicios auxiliares no es imprescindible que formen parte de la instalación de atraque propiamente dicha ni tan sólo que se encuentren anejas al área de almacenamiento o muy próximas a la misma, aunque si puede ser conveniente que algunas de ellas lo estén para determinados tráficos. Con carácter general y en ausencia de criterios específicos por parte del Promotor de la instalación, es recomendable reservar superficies para el área de servicios auxiliares y complementarios entre el 30 y el 60 % de la superficie de almacenamiento requerida.

3.2.1.7.4. DEFINICIÓN DE LA ANCHURA DE LA INSTALACIÓN DE ATRAQUE

A los efectos de la determinación de la anchura media (A_m), las instalaciones de atraque y amarre pueden considerarse que tienen o ninguna, o una o la totalidad de las áreas descritas, dependiendo de su configuración física; es decir:

- ◆ Duques de alba, boyas, campos de boyas y monoboyas: no existe propiamente ninguna de las áreas, por lo que la anchura es sólo la requerida por la propia estructura de atraque y amarre.
- ◆ Pantalanes: en el pantalán propiamente dicho únicamente se distingue área de operación ($A_m = A_o$), sin perjuicio de que puedan definirse áreas de operación, de almacenamiento y de servicios complementarios en las zonas perpendiculares u oblicuas a la línea de atraque en el inicio del pantalán lado tierra, de igual forma que en muelles, las cuales son necesarias para el desarrollo de las operaciones (Ver apartado 3.2.1.7.1). En los pantalanes que conforman líneas de atraque discontinuas se considerará que únicamente en la plataforma se distingue área de operación.
- ◆ Muelles: Se distingue tanto área de operación como de almacenamiento y de servicios auxiliares y complementarios. En este caso:

$$A_m = A_o + \frac{\sum S_{\text{almacenamiento}, i}}{L_a}$$

Las anchuras recomendadas para obras de atraque y amarre de uso comercial no son directamente aplicables a los otros usos, en particular a los deportivos. No obstante lo anterior, las dimensiones mínimas anteriormente señaladas para las áreas de operación (A_o) son aplicables a los usos pesqueros, industriales y militares. La anchura de las áreas de operación para usos deportivos oscilan generalmente entre 1,50 y 3 metros cuando se admiten únicamente accesos peatonales y hasta 10 metros en los otros casos. Para áreas de almacenamiento en usos pesqueros son usuales anchuras medias de 100 a 150 metros.

3.2.1.8. Accesos terrestres

Las instalaciones de atraque y amarre deberán contar con los accesos adecuados, tanto por carretera como por ferrocarril, para que el intercambio entre los modos de transporte terrestre y marítimo pueda producirse y sea seguro y eficiente.

La metodología para obtener la capacidad requerida para dimensionar los accesos terrestres a una instalación de atraque se incluirán en la ROM 3.2. Configuración terrestre de los puertos. No obstante, a falta de estu-

(20) CFS (Container Freight Station) en denominación inglesa.

dios específicos, podrán utilizarse formulaciones simplificadas como la que se incluye a continuación, correspondientes a una terminal polivalente. Para otro tipo de instalaciones de atraque este procedimiento simplificado podrá utilizarse con la adecuada adaptación de las fórmulas.

3.2.1.8.1. PREVISIÓN DE TRÁFICO VIARIO

La previsión de tráfico viario generado por una instalación de atraque multipropósito de carga general se determinará mediante la fórmula siguiente:

$$T = C_{t \text{ import-export}, i} \cdot \frac{\alpha \cdot \beta \cdot \tau \cdot (1 - \delta) \cdot \sigma}{360 \cdot W \cdot \mu}$$

siendo:

- T = Densidad de tráfico previsto (vehículos/hora).
 $C_{t \text{ import-export}, i}$ = Volumen anual de mercancías del tipo i manipulado en la instalación de atraque en régimen import-export (t). Es decir, excluyendo los tráficos del tipo i en régimen de tránsito marítimo. $C_{t \text{ import-export}, i} = (1 - \mu_i) \cdot C_{t,i}$
W = Tonelaje medio movido por un camión (t).
 α = Parte de la mercancía transportada en modo viario (tanto por uno).
 β = Índice de variación mensual (tráfico mes punta/tráfico mes ordinario).
 τ = Índice de variación diaria (tráfico día punta/tráfico día ordinario).
 δ = índice de vehículos pasivos (vehículos pasivos/vehículos de transporte).
 μ = Índice de vehículos cargados (vehículos cargados/vehículos de transporte).
 σ = Índice de variación horaria (tráfico hora punta/tráfico del día punta).

A falta de datos específicos se recomienda utilizar como valores de los parámetros anteriores para carga general fraccionada y contenedores los consignados en la Tabla 3.2.1.10.

Tabla 3.2.1.10. Parámetros recomendados para determinar previsiones de tráfico viario generado por una instalación de atraque

PARÁMETRO	PARA CARGA GENERAL CONVENCIONAL	PARA CONTENEDORES
α (viario y ferroviario)	Min. 0,7	Min. 0,7
α (sólo viario)	1,0	1,0
W (en t)	3,0	12,0
β	1,2	1,0
τ	1,5	1,5
δ	0,5	0,5
μ	0,5	0,5
σ	0,125	0,125

En el supuesto de que la terminal permita la operación simultánea de tráfico viario y ferroviario, se adoptará para α el valor adecuado a la distribución prevista entre ambos tráficos por el Promotor de la instalación. No obstante, en previsión de posibles alteraciones en la distribución inicialmente prevista entre los tráficos viarios y ferroviarios por causas coyunturales o de evolución de la demanda, a los efectos del dimensionamiento de los accesos viarios es recomendable que en ningún caso se adopte un valor de α inferior a 0,7.

La previsión de tráfico resultante será la suma del generado por la carga general fraccionada y por los contenedores.

La utilización de los criterios expuestos con la totalidad de los parámetros recomendados en la tabla 3.2.1.10 ($\alpha = 1$) permite desarrollar la fórmula simplificada siguiente:

$$T = (130 \cdot C_{t \text{ import-export, C}} + 625 \cdot C_{t \text{ import-export, G}}) \cdot 10^{-6}$$

siendo $C_{t \text{ import-export, C}}$ y $C_{t \text{ import-export, G}}$ los volúmenes anuales de mercancías de contenedores y de carga general convencional, respectivamente, manipulados en la instalación de atraque en régimen import-export, expresados en toneladas.

La expresión anterior permite determinar la previsión de tráfico en la vía principal de acceso o en cualquiera de los ramales secundarios, según que los valores que se adopten para $C_{t \text{ import-export, C}}$ y $C_{t \text{ import-export, G}}$ sean los de la totalidad de la terminal o los de la zona atendida por el ramal correspondiente.

3.2.1.8.2. PREVISIÓN DE TRÁFICO FERROVIARIO

La previsión del tráfico ferroviario generado por una instalación de atraque multipropósito de carga general, en el supuesto de estar dotada para este modo de transporte, se determinará aplicando los criterios siguientes:

- ◆ Trenes de contenedores:

$$TC = C_{t \text{ import-export, C}} \cdot IM \cdot AF \cdot (1/WC) \cdot (1/IC) \cdot 2 \cdot (1/NC) \cdot (1/NV)$$

- ◆ Trenes de mercancía general fraccionada:

$$TG = C_{t \text{ import-export, G}} \cdot AF \cdot (1/WV) \cdot (1/IV) \cdot (1/IE) \cdot (1/NV)$$

- ◆ Número total de trenes diarios:

$$TT = (TC + TG) / (365 - DF)$$

- ◆ Longitud máxima del tren:

$$LT = LV \cdot NV$$

siendo:

TC	=	Número de trenes de contenedores al año.
TG	=	Número de trenes de mercancía general fraccionada al año.
TT	=	Número total de trenes por día.
LT	=	Longitud máxima de un tren (m).
$C_{t \text{ import-export, C}}$	=	Volumen anual de mercancías de contenedores manipulado en la instalación de atraque en régimen import-export (t).
$C_{t \text{ import-export, G}}$	=	Volumen anual de mercancía de carga general convencional manipulado en la instalación de atraque en régimen import-export (t).
IM	=	Índice de mercancías exportadas o importadas (el que sea el mayor) sobre el total movido por contenedor.
AF	=	Parte de la mercancía transportada en modo ferroviario (tanto por uno).
WC	=	Capacidad media de carga de un contenedor (t).
WV	=	Capacidad media de carga de un vagón de ferrocarril (t).
IC	=	Índice de contenedores cargados (contenedores cargados / todos los contenedores).
IV	=	Índice de vagones cargados (vagones cargados/todos los vagones).
IE	=	Índice de eficiencia de carga para carga general convencional.
NC	=	Número de contenedores por vagón portacontenedores.
NV	=	Número de vagones por tren.
DF	=	Número de días sin servicio (domingos y festivos).
LV	=	Longitud de un vagón.

A falta de datos específicos se recomienda utilizar como valores de los parámetros anteriores los consignados en la Tabla 3.2.1.11. En el supuesto de que la terminal permita la operación simultánea de tráfico viario y ferroviario se adoptará para AF el valor adecuado a la distribución prevista entre ambos tráficos. No obstante, en previsión de posibles alteraciones en la distribución inicialmente prevista entre los tráficos viarios y ferroviarios por causas coyunturales o de evolución de la demanda, a los efectos del dimensionamiento de los accesos viarios es recomendable que en ningún caso se adopte un valor de α inferior a 0.30.

La utilización de los criterios expuestos con la totalidad de los parámetros recomendados en la Tabla 3.2.1.11, supuesto un valor de $IM = 0,6$ y de $AF = 1$, permite desarrollar la fórmula simplificada siguiente:

$$TT = (3.4 \cdot C_{t \text{ import-export}, C} + 5.1 \cdot C_{t \text{ import-export}, G}) \cdot 10^{-6}$$

que indica el número previsto de trenes de 750 m de longitud (58 vagones de 13 m) por día de operación.

Tabla 3.2.1.11. Parámetros recomendados para determinar previsiones de tráfico ferroviario generado por una instalación de atraque

PARÁMETRO	PARA CARGA GENERAL CONVENCIONAL	PARA CONTENEDORES
LT (m)	750	750
AF (viario y ferroviario)	Min. 0,3	Min. 0,3
AF (sólo ferroviario)	1,0	1,0
AF (sólo viario)	0,0	0,0
WC (t)	–	12
WV (t)	20	–
IC	–	0,85
IV	0,75	–
IE	0,75	–
NC	–	2
NV	70	70
DF	65	65
LV	13	13

3.2.2. Dimensionamiento en alzado

Las características a definir en una obra de atraque y amarre referentes a su dimensionamiento en alzado son:

- ◆ Nivel de coronación del atraque (n_c).
- ◆ Calado del atraque (h_a).
- ◆ Perfil longitudinal de tacones y rampas.
- ◆ Pendientes del área de operación y almacenamiento.

3.2.2.1. Nivel de coronación del atraque

El nivel de coronación de la obra de atraque y amarre (n_c), medido en la línea de atraque, será como mínimo el que permita su explotación eficiente y en condiciones seguras para la flota de buques y las operaciones portuarias previstas, con un determinado nivel de operatividad. Dichos niveles de coronación del atraque pueden tener incidencia en el modo de parada operativa “paralización de las operaciones de carga y descarga del buque y del embarque y desembarque de pasajeros” por las siguientes causas:

- ◆ Incompatibilidad con los equipos de carga y descarga del buque o de embarque y desembarque de pasajeros, así como no ajustarse a los requerimientos de explotación de la flota de buques y de la instalación de atraque ⁽²¹⁾.
- ◆ Rebasabilidad de la coronación del atraque por las aguas exteriores.
- ◆ Inundación de la coronación de la instalación de atraque por los niveles freáticos en el trasdós.

El nivel mínimo de coronación de la línea de atraque (n_c) deberá ser el nivel más alto que resulte de la consideración de dichas causas de paralización operativa con las probabilidades de presentación que se adopten para cada una de ellas, determinadas por medio de la probabilidad de presentación de los niveles de las aguas exteriores que sean de aplicación para cada una de dichas causas o, en su caso, de los niveles freáticos. Los niveles de coronación asociados con cada una de estas causas se determinarán a partir de la definición del nivel de las aguas exteriores o, en su caso, de los niveles freáticos, asociado a la probabilidad de presentación adoptada (nivel de referencia) y del francobordo ⁽²²⁾ de seguridad mínimo asociado con la causa de paralización analizada.

Dados los niveles de operatividad mínimos admisibles establecidos por esta Recomendación para las instalaciones de atraque (Ver tabla 3.4.3) teniendo en cuenta todos los modos de parada y causas de paralización operativa, es recomendable considerar que prácticamente no se pueda producir la paralización de las operaciones de carga y descarga del buque o del embarque y desembarque de pasajeros por las causas señaladas, siendo otras causas de paralización las que realmente determinen el nivel de operatividad de la instalación de atraque correspondiente a esta operativa. Además, para el caso de rebases e inundaciones del trasdós, es recomendable ir más allá de considerar su incidencia en la paralización de las operaciones de carga y descarga, y acotar la probabilidad de que se puedan producir rebases o inundaciones de la coronación de la instalación de atraque durante su vida útil, con el objeto de reducir a niveles admisibles la posibilidad de deterioros en los equipos de manipulación y en las mercancías depositadas en las áreas de operación y almacenamiento por dichas causas. Por tanto, de acuerdo con estos criterios, los niveles de referencia de las aguas exteriores y de los niveles freáticos estarán asociados, respectivamente a (ver apartado 4.1.1):

- ◆ Ventana operativa de las aguas exteriores debida a mareas y regímenes fluviales (*ventana de marea operativa*) asociada con una probabilidad anual de excedencia (niveles altos) o de no excedencia (niveles bajos) en el emplazamiento de 10^{-3} . Esta definición de la ventana de marea operativa equivale a considerar que el nivel que pueden alcanzar las aguas exteriores debido a mareas y regímenes fluviales en el emplazamiento no limitan la operatividad de la instalación de atraque.
- ◆ Ventana extremal de los niveles de las aguas exteriores, asociada a una probabilidad de presentación en el emplazamiento de 10^{-1} durante la vida útil de la instalación de atraque.
- ◆ Ventana extremal de los niveles freáticos en el trasdós, asociada a una probabilidad de presentación en el emplazamiento de 10^{-1} durante la vida útil de la instalación de atraque.

A los efectos de este apartado, el nivel de coronación del atraque no se refiere a los niveles de coronación lado mar de los tacones y rampas necesarios, en algunos casos, para la utilización de sistemas de manipulación de mercancías por medios rodantes, sino al nivel de coronación de la línea de atraque. Los niveles de coronación lado mar de tacones y rampas se analizan en los apartados 3.2.1.6 y 3.2.2.3 de esta Recomendación.

3.2.2.1.1. NIVEL DE CORONACIÓN POR CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN

- ◆ *Nivel de referencia de las aguas exteriores*

El nivel de referencia de las aguas exteriores para determinar el nivel de coronación asociado a la causa de paralización de las operaciones de carga y descarga o de embarque y desembarque de pasajeros por condiciones de explotación será el nivel superior correspondiente a la *ventana de marea operativa*. Es

(21) Esta causa de paralización está asociada fundamentalmente a las alturas máximas de elevación de las grúas por encima del nivel de coronación de la instalación de atraque.

(22) Se define como francobordo a la diferencia de altura entre el nivel de las aguas exteriores y el nivel de coronación de la obra de atraque.

decir, de acuerdo con lo recomendado a estos efectos en el apartado 3.2.2.1, el nivel superior de las aguas exteriores debida a mareas y regímenes fluviales cuya probabilidad anual de excedencia en el emplazamiento sea 10^{-3} .⁽²³⁾

◆ *Francobordo de seguridad*

Con carácter general, dadas las alturas máximas de elevación sobre el nivel de coronación del atraque usuales en los equipos de carga y descarga de buques por elevación y de embarque y desembarque de pasajeros estándar que están disponibles comercialmente en la actualidad (Ver apartados 4.6.4.2.1.1 y 4.6.4.2.3), las características del francobordo de los buques y embarcaciones y las alturas máximas de estiba sobre cubierta, así como los máximos movimientos admisibles de los buques en el puesto de atraque durante las operaciones de carga y descarga o de embarque y desembarque de pasajeros (Ver tabla 4.6.4.22), los francobordos mínimos de la línea de atraque con respecto al nivel superior de la *ventana de marea operativa* recomendados por condiciones de explotación se consignan en la tabla 3.2.2.1.

En el caso de que las grúas previstas por el Promotor de la terminal no respondieran a los valores de alturas máximas de elevación usuales, los francobordos mínimos consignados en la tabla anterior deberían adaptarse (comprobarse o reducirse) con el objeto de mantener similares márgenes de seguridad.

En el caso de obras de atraque flotantes, los francobordos mínimos de la tabla 3.2.2.1 correspondientes a condiciones de explotación serán aplicables a la situación de máximo calado del flotador.

Para instalaciones de atraque en la que la manipulación es por rodadura, la condición de explotación para definir el nivel de coronación no es estrictamente de aplicación. Sin embargo, por razones de optimización de la dimensión longitudinal de tacones y rampas (ver apartado 3.2.2.3), también es recomendable la aplicación de los francobordos mínimos incluidos en la tabla anterior a este tipo de instalaciones.

3.2.2.1.2. NIVEL DE CORONACIÓN POR CONDICIONES DE NO REBASABILIDAD DE LAS AGUAS EXTERIORES

◆ *Nivel de referencia de las aguas exteriores*

El nivel de referencia de las aguas exteriores para determinar el nivel de coronación por condiciones de no rebasabilidad será el nivel superior correspondiente a la *ventana extremal* de los niveles de las aguas exteriores, considerando todos los agentes que en el emplazamiento inciden en los niveles de las aguas exteriores en el emplazamiento. Es decir, tanto las oscilaciones de periodo largo (mareas y regímenes fluviales) como las de periodo intermedio (ondas largas) o corto (oleaje), así como el viento. Es decir, el nivel superior de las aguas exteriores cuya probabilidad de excedencia en el emplazamiento durante la vida útil de la instalación de atraque sea 10^{-1} . Este nivel puede definirse por medio de las siguientes aproximaciones:

■ *Aproximación determinista-probabilista*

Se adoptará el agente más relevante en el emplazamiento a los efectos de su incidencia en el nivel superior de las aguas exteriores como agente predominante. En áreas abrigadas, el agente predominante suele ser el nivel superior asociado con mareas y, en su caso, regímenes fluviales. En áreas abrigadas amplias (p.e. estuarios o grandes dársenas) sin mareas astronómicas significativas el agente predominante suele ser el viento (sobreelevaciones debidas al viento). En áreas no abrigadas o con

(23) Si no se dispone del régimen medio del nivel superior de esta variable en el emplazamiento, simplifcadamente puede considerarse que el nivel superior de la ventana de marea operativa asociado a una probabilidad de excedencia de 10^{-3} es:

- En mares con marea astronómica significativa: la PMVE (pleamar viva equinoccial).
- En mares sin marea astronómica significativa: + 0.5 m respecto al nivel medio del mar.

importante agitación el agente predominante suele ser el oleaje ⁽²⁴⁾, particularmente si la marea astronómica no es significativa.

El nivel de referencia de las aguas exteriores se determinará como la suma de los siguientes niveles:

- El correspondiente a un periodo de retorno (T_R) asociado a la probabilidad de presentación durante la vida útil de la instalación de 0,10 ⁽²⁵⁾, obtenido de la función de distribución de extremos marginal del nivel superior de las aguas exteriores en el emplazamiento asociado al agente predominante ⁽²⁶⁾. En el caso de que el agente predominante pueda diferenciarse por direcciones se adoptará dicho periodo de retorno en el régimen extremal direccional correspondiente a la dirección que sea más desfavorable a los efectos del nivel superior de las aguas exteriores en el emplazamiento.
 - Los valores de compatibilidad para condiciones de trabajo excepcionales debidos a la actuación de un agente climático de carácter extraordinario de los niveles superiores de las aguas exteriores asociados con el resto de agentes de actuación simultánea que inciden en los mismos. Los valores de compatibilidad de los agentes independientes del predominante serán los asociados a una probabilidad absoluta de no excedencia del 85% en el régimen medio, considerando, en su caso, la dirección más desfavorable a los efectos del nivel superior de las aguas exteriores. Para los agentes dependientes del predominante o del resto de agentes independientes se adoptará como valor de compatibilidad el correspondiente a una probabilidad de no excedencia del 85% en la función de distribución condicionada al valor de compatibilidad y dirección adoptado para el agente del que dependen (Ver apartado 4.1.1.1 b₁).
- En el caso de que no pueda identificarse el agente predominante a estos efectos se deberá considerar sucesivamente cada uno de los agentes que inciden en el nivel superior de las aguas exteriores en el emplazamiento como predominante, adoptando como nivel de referencia de las aguas exteriores el más desfavorable de entre los obtenidos.

■ Aproximación probabilista

De una forma más precisa, el nivel superior de la ventana extremal de las aguas exteriores se asociará a una probabilidad de presentación en el emplazamiento de 10^{-1} durante la vida útil en la función de distribución definida como función derivada obtenida por medio del ajuste de una función de distribución a los valores generados de forma aleatoria (p.e. mediante el método de Monte Carlo) a partir de las frecuencias de presentación direccionales de los valores extremales y de los regímenes extremales, en su caso direccionales, de los agentes que inciden en el nivel superior de las aguas exteriores que sean independientes entre sí y de las funciones de distribución condicionadas a cada valor y dirección para los agentes dependientes de éstos.

◆ Francobordo de seguridad

El francobordo mínimo de la línea de atraque con respecto al nivel superior de la ventana extremal de las aguas exteriores recomendado por condiciones de no rebasabilidad es de 0,5 m (Ver tabla 3.2.2.1).

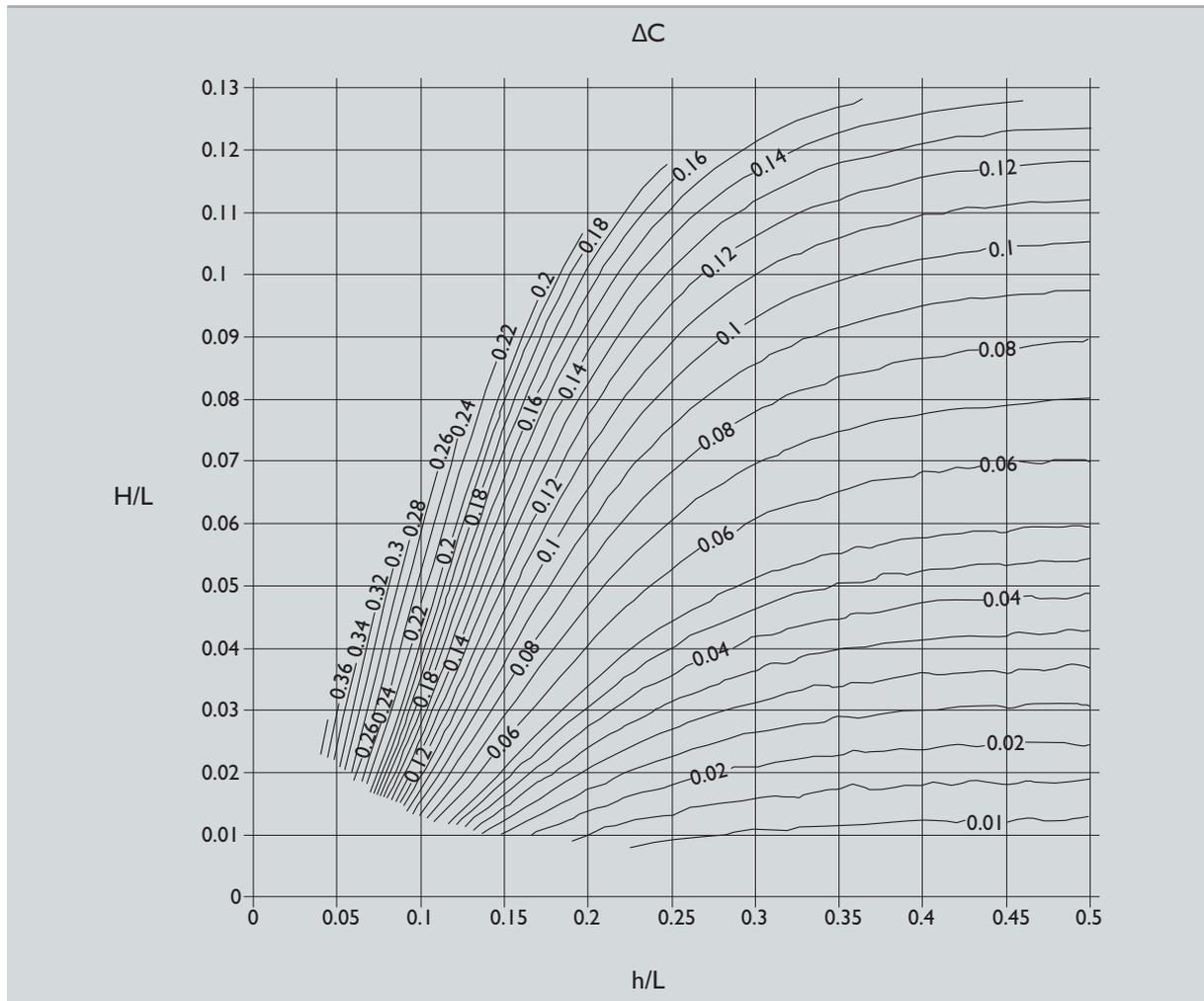
En el caso de obras de atraque flotantes, a los efectos de la determinación del nivel de coronación no se tomará en consideración la condición de no rebasabilidad.

(24) A los efectos de la definición de las ventanas operativas y extremales de las aguas exteriores, la variable representativa del oleaje será H_{max} en el emplazamiento y en presencia de la obra de atraque, considerando el nivel adoptado de las aguas exteriores asociado a mareas y regímenes fluviales. Adicionalmente deberá valorarse la posible no linealidad del oleaje en el emplazamiento, con posibles asimetrías entre la altura de cresta y seno respecto al nivel medio. La sobreelevación ΔC (Altura de cresta respecto al nivel medio ($H_{max}/2$)) depende de la profundidad relativa (h/L) y del peralte de la ola (H_{max}/L), pudiendo estimarse por medio de la gráfica de la figura 3.2.8.

(25) Para una vida útil de 50 años, la probabilidad de presentación de 0.10 se corresponde con un periodo de retorno de 475 años.

(26) En el caso de que el agente predominante sea el nivel superior asociado con mareas, los valores extremales de esta variable asociados a diferentes periodos de retorno en las costas españolas pueden obtenerse en la tabla 4.6.2.3. de esta Recomendación.

Figura 3.2.8. Estimación de la sobreelevación de la cresta de ola sobre el nivel medio, utilizando un modelo de oleaje no lineal



3.2.2.1.3. NIVEL DE CORONACIÓN POR CONDICIONES DE NO INUNDACIÓN POR LOS NIVELES FREÁTICOS EN EL TRASDÓS

- ◆ Nivel de referencia de los niveles freáticos en el trasdós

El nivel de referencia de los niveles de referencia de los niveles freáticos en el trasdós para determinar el nivel de coronación por condiciones de no inundación será el nivel superior correspondiente a la *ventana extremal* de los niveles freáticos. Es decir, el nivel superior de los niveles freáticos cuya probabilidad de excedencia durante la vida útil de la instalación de atraque sea 10^{-1} . Este nivel puede definirse por medio de la siguiente aproximación:

El correspondiente a un periodo de retorno (T_R) asociado a la probabilidad de presentación durante la vida útil de la instalación de 0,10 ⁽²⁷⁾, obtenido de la función de distribución de extremos del nivel de saturación del terreno del trasdós.

(27) Para una vida útil de 50 años, la probabilidad de presentación de 0.10 se corresponde con un periodo de retorno de 475 años.

En ausencia de datos estadísticos relevantes en el emplazamiento, simplificada siempre que la estructura y el cimiento sean de baja permeabilidad ($k < 10^{-5}$ cm/s), podrá considerarse un aumento del nivel igual a la máxima intensidad de precipitación en 24 horas con un periodo de retorno de 500 años, expresado en términos de altura/m², desde el nivel medio del mar (o el nivel medio de avenida en corrientes fluviales) + 0,30 m.

◆ *Francobordo de seguridad*

El francobordo mínimo de la línea de atraque con respecto al nivel superior de la ventana extremal de los niveles freáticos en el trasdós recomendado por condiciones de no inundación es de 0,5 m (Ver tabla 3.2.2.1).

Tabla 3.2.2.1. Criterios para la determinación de niveles mínimos de coronación de las obras de atraque fijas

	NIVEL DE REFERENCIA DE LAS AGUAS EXTERIORES	USO DE LA OBRA DE ATRAQUE	FRANCOBORDO (EN M)
POR CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN	Nivel superior de la ventana de marea operativa ¹⁾	Uso comercial, industrial y militar	+ 1,50 ~ + 2,50 ³⁾
		Uso pesquero	+ 0,50 ~ + 1,00 ⁴⁾
		Uso náutico-deportivo	+ 0,15 ~ + 1,00 ⁵⁾
POR CONDICIONES DE NO REBASABILIDAD DE LAS AGUAS EXTERIORES	Nivel superior de la ventana extremal de las aguas exteriores ²⁾	Todos los usos	+ 0,50
POR CONDICIONES DE NO INUNDACIÓN POR LOS NIVELES FREÁTICOS EN EL TRASDOS	Nivel superior de la ventana extremal de los niveles freáticos en el trasdós	Todos los usos	+ 0,50

Notas

- (1) Ventana operativa asociada a mareas (astronómica y meteorológica) y, en su caso, a regímenes fluviales.
- (2) Ventana extremal de las aguas exteriores, considerando todos los agentes que inciden en los niveles de las aguas exteriores en el emplazamiento (mareas, oleaje, ondas largas, ...).
- (3) Se tomará un francobordo de 1,5 m cuando el desplazamiento del mayor buque de la flota esperable en el atraque sea menor o igual a 10.000 t. Cuando dicho buque tenga un desplazamiento mayor se adoptará un francobordo de hasta 2.50 m.
- (4) Se tomará un francobordo de 0,50 m para embarcaciones de pequeña eslora (< 12 m). A su vez, es recomendable en estos casos que, desde el nivel inferior de la ventana de marea operativa, el francobordo resultante hasta el nivel de coronación no sea superior a 1,5 m. Cuando esto no sea posible será necesario adoptar una solución flotante.
- (5) Se tomará un francobordo de 0,15 m para embarcaciones de pequeña eslora (< 12 m). A su vez, es recomendable en estos casos que, desde el nivel inferior de la ventana de marea operativa, el francobordo resultante hasta el nivel de coronación no sea superior a 1,00 m. Cuando esto no sea posible será necesario adoptar una solución flotante.

En el caso de obras de atraque flotantes o de obras de atraque fijas sin rellenos en el trasdós, a los efectos de la determinación del nivel de coronación no se tomará en consideración la condición de no inundación por los niveles freáticos en el trasdós.

3.2.2.2. Calado del atraque

Con independencia de los calados existentes en los canales de accesos y demás áreas de flotación que condicionan la accesibilidad y la salida de los buques, el calado del atraque (h_a) será como mínimo el que permita la permanencia de todos los buques de la flota esperable en el atraque en las situaciones de carga previstos, con un determinado nivel de operatividad. A estos efectos, se define como calado del atraque a la distancia entre el nivel del fondo marino y el nivel inferior de la *ventana de marea operativa* adoptada para la permanencia de los buques en el atraque (nivel de referencia). A estos efectos, se entiende por *ventana de marea operativa* a la formada por los niveles superior e inferior de los niveles de las aguas exteriores debidas a mareas y corrientes fluviales establecidos como umbrales de operatividad para la permanencia de la flota de buques esperable en el atraque.

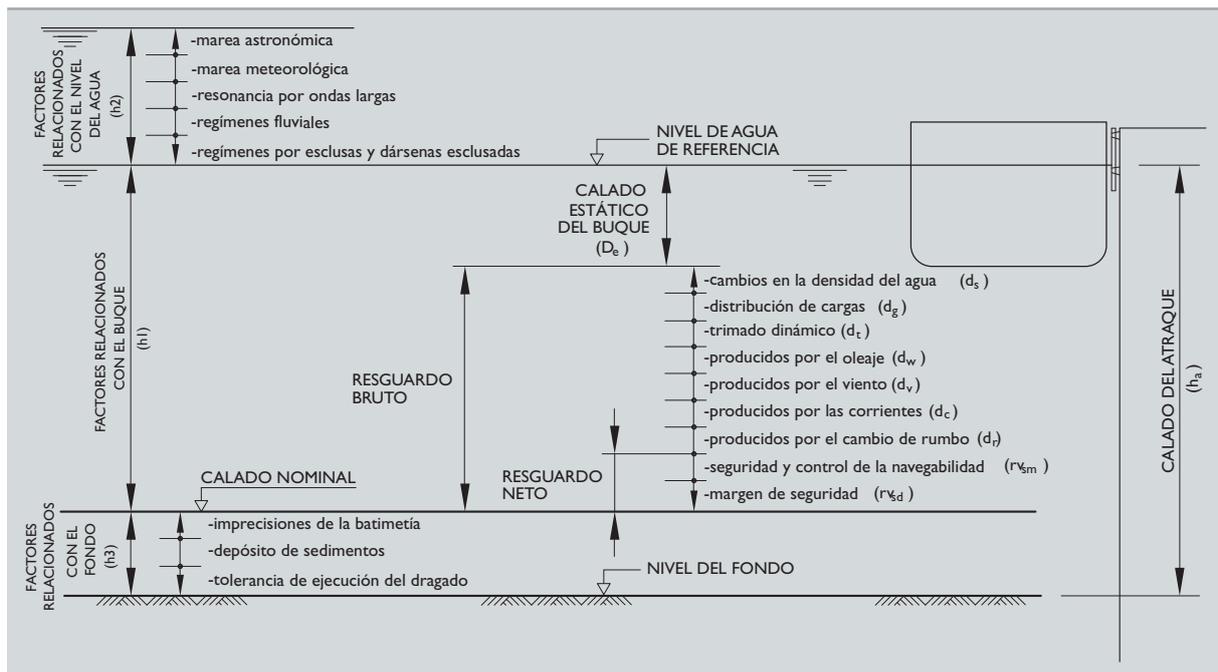
El incumplimiento de esta condición debe considerarse un modo de parada operativa correspondiente a la imposibilidad de permanencia del buque en el atraque por insuficiencia de calado (Ver apartados 3.3.4 y 4.6.4.4.7.1.3.a4).

Dados los niveles de operatividad mínimos globales exigidos por esta Recomendación para las instalaciones de atraque teniendo en cuenta todas las causas de paralización operativa, es recomendable considerar que no se debe producir la suspensión de la permanencia del buque en el atraque por insuficiencia de calado, siendo otras causas de paralización las que realmente determinen el nivel de operatividad de la instalación de atraque. Lo contrario tiene una gran incidencia en la calidad del servicio. Por dichas razones, a los efectos de determinación del calado del atraque se considerará que los niveles de las aguas exteriores debidos a mareas y, en su caso, regímenes fluviales no limitan la permanencia del buque en el atraque, adoptándose como nivel inferior de la ventana de marea operativa para la permanencia del buque en el atraque aquél cuya probabilidad anual de no excedencia sea 10^{-3} , de acuerdo con lo previsto en el apartado 4.1.1 de estas Recomendación para condiciones operativas.

Por otra parte, dado que los valores umbrales de los agentes climáticos y océano-meteorológicos que se adopten como límite para la realización de las operaciones de partida del buque desde el atraque no pueden ser más restrictivos que para la permanencia del buque en el mismo (en caso contrario, el buque debería abandonar el atraque pero no podría partir, lo que es un contrasentido), puede ser recomendable para el dimensionamiento de las áreas de acceso y de maniobra con criterios de optimización económica independizar la suspensión de permanencia del buque en el atraque de la suspensión de la accesibilidad marítima en relación con los umbrales de operatividad adoptados para los niveles las aguas exteriores debidas a mareas y regímenes fluviales. Para ello es conveniente garantizar prácticamente la permanencia del buque en el atraque independientemente de los valores que puedan presentar en el emplazamiento los niveles de marea (*ventana de marea extraordinaria*) En este caso, a los efectos de determinación del calado, se adoptará como calado aquél asociado a una probabilidad de que el buque toque fondo durante la vida útil de la instalación de atraque de 0,10 en caso de instalaciones de atraque en las que no se manipulen mercancías peligrosas o de 10^{-2} en el caso contrario.

El calado necesario en la línea de atraque, respecto al nivel de referencia adoptado para las aguas exteriores es función de los siguientes factores (Ver figura 3.2.9):

Figura 3.2.9. Factores que inciden en la definición del calado en la línea de atraque



- ◆ Factores relacionados con el buque (h_1):
 - Calado estático del buque (D_e).
 - Resguardo necesario por causa de factores estáticos y dinámicos relacionados con el buque que dan lugar a que algún punto del casco alcance cotas más bajas que el calado estático (principalmente por efectos climatológicos y océano-meteorológicos, de distribución de las cargas y de movimientos del buque).
 - Resguardo de seguridad que se establece para asegurar la maniobrabilidad del buque y prevenir el contacto del buque con el fondo. A este resguardo se le denomina “resguardo neto”.

Al conjunto de los resguardos anteriores se le denomina “resguardo bruto”. El calado estático y el resguardo bruto definen el calado nominal

- ◆ Factores relacionados con el fondo (h_3):
 - Resguardo que se establece para cubrir imprecisiones de la batimetría, tolerancias de ejecución de los dragados y posibles depósitos de sedimentos en el rango que se considera admisible.

Es decir:

$$h_a = h_1 + h_3$$

El cálculo en detalle de cada uno de estos factores puede encontrarse en la ROM 3.1-99. Recomendaciones para el proyecto de configuración marítima de los puertos, adoptando como valores representativos de las variables de los distintos agentes que intervienen en la formulación (viento, corrientes, oleaje, ...) los siguientes (aproximación determinista-probabilista):

- ◆ Para nivel de referencia de las aguas exteriores igual al nivel inferior de la ventana de marea operativa

Los valores de compatibilidad para condiciones de trabajo operativas de las variables de actuación simultánea, considerando como agente predominante los niveles de las aguas exteriores debidos a mareas y, en su caso, regímenes fluviales.

Es decir, los valores de compatibilidad de las variables de los agentes independientes del predominante serán los asociados a una probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el régimen medio en el emplazamiento en la dirección más desfavorable a los efectos del calado, sin exceder, en su caso, los valores límites de operatividad correspondientes a la permanencia del buque en el atraque establecidos para dicha variable en la dirección considerada. Para las variables de los agentes dependientes del predominante o del resto de agentes independientes entre sí se adoptará como valor de compatibilidad el correspondiente a una probabilidad de no excedencia del 85% en la función de distribución condicionada al valor de compatibilidad y, en su caso, dirección adoptados para el agente del que dependen, sin exceder también, en su caso, los valores límites de operatividad correspondientes a la permanencia del buque en el atraque, establecidos para la variable considerada (Ver apartado 4.1.1.1.c).

Sin perjuicio de lo anterior, particularmente en áreas no abrigadas o parcialmente abrigada o con fuertes corrientes y especialmente con mareas astronómicas no significativas, deberá comprobarse adicionalmente para cada buque por si pudieran ser más desfavorables, la serie de niveles del fondo determinados calculando los anteriores factores, considerando sucesivamente como variable predominante cada una de las que intervienen en la formulación de los factores, considerando como valor representativo de la misma el correspondiente a su umbral límite de operatividad para la permanencia del buque en el atraque. Los valores representativos del resto de variables de actuación simultánea con la predominante serán los valores de compatibilidad para condiciones normales operativas, obtenidos de acuerdo con lo indicado en párrafo anterior. Por tanto, el nivel de referencia de las aguas exteriores en estas situaciones será, en el caso de que el nivel de las aguas exteriores se considere independiente del agente predominante, el nivel correspondiente a una probabilidad de no excedencia del 50% en el régimen medio del nivel inferior de las aguas exteriores debidas a mareas y regímenes fluviales. En el caso de que el nivel de las aguas exteriores se con-

sidere dependiente del agente predominante, el nivel de referencia será el correspondiente a una probabilidad de no excedencia del 85% en la función de distribución del nivel de las aguas exteriores debidas a mareas y regímenes fluviales, condicionada a el valor de la variable predominante.

◆ *Para nivel de referencia de las aguas exteriores igual al nivel inferior de la ventana de marea extraordinaria*

En estos casos el nivel de referencia de las aguas exteriores será el correspondiente al un periodo de retorno asociado a la probabilidad de presentación durante la vida útil de la instalación de 10^{-2} ó 0,10⁽²⁸⁾(29), en función de que la instalación de atraque sea o no sea para mercancías peligrosas, obtenido de la función de distribución de extremos marginal del nivel inferior de las aguas exteriores debidas a mareas y regímenes fluviales.

Los valores de compatibilidad para el resto de variables de los agentes que inciden en los calados (oleaje, corrientes, viento, ...) serán los correspondientes a condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de un nivel de las aguas exteriores debidas a mareas y regímenes fluviales extraordinario de las variables de actuación simultánea. Es decir, los asociados con una probabilidad absoluta de no excedencia del 85% en el régimen medio (variables independientes entre sí y del nivel de las aguas exteriores), sin exceder, en su caso, los valores límites de operatividad correspondientes a la permanencia del buque en el atraque establecidos para dicha variable en la dirección considerada y, para variables dependientes, los correspondientes a una probabilidad de no excedencia del 85% en la función de distribución condicionada al valor de compatibilidad y dirección adoptado para la variable de la que dependen, sin exceder también, en su caso, los valores límites de operatividad correspondientes a la permanencia del buque en el atraque establecidos para la variable considerada (Ver apartado 4.1.1.1. b₁).

De una forma más precisa, los niveles del fondo correspondientes a cada buque tanto para condiciones operativas como, en su caso, para condiciones excepcionales podrán obtenerse a través de métodos probabilistas, sin necesidad de definir niveles de referencia de las aguas exteriores ni valores de compatibilidad del resto de variables que inciden en la formulación de este nivel, a través de la generación de conjuntos de valores aleatorios de estos parámetros (p.e. mediante el método de Monte Carlo) y la posterior definición del nivel de fondo asociado a los mismos a través de la correspondiente formulación, partiendo de las funciones de distribución representativas de los niveles de agua y del resto de agentes en las correspondientes condiciones de trabajo (regímenes medios en el emplazamiento para condiciones operativas y regímenes extremos en el emplazamiento para condiciones excepcionales de las variables independientes entre sí y de las funciones de distribución condicionadas para las variables dependientes de las primeras). Con esta metodología para cada buque el nivel del fondo del atraque adecuado será aquél asociado a una probabilidad de que el buque toque fondo durante la vida útil de 10^{-3} para condiciones de trabajo operativa y de 0,10 (instalación de atraque para mercancías no peligrosas) ó 10^{-2} (instalación de atraque para mercancías peligrosas) para condiciones de trabajo excepcionales.

Los cálculos anteriores se realizarán para cada uno de los buques de la flota y en las situaciones límite de carga esperables en el atraque, adoptándose como nivel del fondo de la instalación el atraque el más desfavorable de entre los asociados a los citados buques.

Simplificadamente, el calado del atraque pueden estimarse para cálculos previos por medio de la formulación aproximada de la tabla 3.2.2.2, aplicable al buque de máximo calado en la peor situación de carga del mismo de la flota esperable en el atraque. Dicha formulación tiene validez siempre y cuando los valores de compatibilidad de las variables climáticas en el emplazamiento compatibles con el nivel de referencia adoptado para las aguas exteriores (*ventana de marea operativa o extraordinaria dependiendo de si la accesibilidad marítima es menos limitativa o más limitativa que la permanencia del buque en el atraque en relación con el nivel de las aguas exteriores*) no den lugar a condiciones límite de permanencia del buque en el atraque clasificadas como Tipo I de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.49 de esta Recomendación.

(28) Para una vida útil de 50 años, la probabilidad de presentación de 0,10 se corresponde con un periodo de retorno de 475 años.

(29) Los niveles extremos de las aguas exteriores asociados a diferentes periodos de retorno en las costas españolas pueden obtenerse en la tabla 4.6.2.3. de esta Recomendación.

Tabla 3.2.2.2. Formulación simplificada para la estimación del calado del atraque a partir del nivel de referencia de las aguas exteriores adoptado (Ventana de marea operativo o ventana de marea extraordinaria) ⁽¹⁾

	BUQUE DE CALADO MÁXIMO EN LA PEOR SITUACIÓN DE CARGA DE LA FLOTA ESPERABLE EN EL ATRAQUE	h_1 ⁽²⁾	h_3
OBRAS DE ATRAQUE SITUADAS EN ÁREAS ABRIGADAS	Buques de gran desplazamiento (≥ 10.000 t)	$1,08 D_e$	1,00 m
	Buques de desplazamiento pequeño y mediano (< 10.000 t)	$1,05 D_e$	0,75 m
OBRAS DE ATRAQUE SITUADAS EN ÁREAS POCO ABRIGADAS	Buques de gran desplazamiento (≥ 10.000 t)	$1,12 D_e$	1,00 m
	Buques de desplazamiento pequeño y mediano (< 10.000 t)	$1,10 D_e$	0,75 m

Notas

(1) Esta formulación tiene validez siempre y cuando los valores de compatibilidad de las variables climáticas en el emplazamiento compatibles con el nivel de referencia adoptado para las aguas exteriores (*ventana de marea operativa o, en su caso, extraordinaria*) no den lugar a condiciones límite de permanencia del buque en el atraque clasificadas como Tipo III de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.49 de esta Recomendación.

(2) En cualquier caso el resguardo bruto mínimo ($h_1 - D_e$) debe ser de 0,50 m para obras de atraque de uso comercial, industrial y militar y de 0,30 m para obras de atraque de uso pesquero y deportivo. No obstante lo anterior, cuando se prevean socavaciones importantes causadas por la acción de las hélices, del oleaje u otras causas, el resguardo bruto mínimo habrá de aumentar hasta 1,00 m. Si se colocan elementos de protección contra dichos efectos, éstos se situarán como mínimo a 0,75 m por debajo del nivel nominal del fondo.

Comentario: De acuerdo con los criterios expuestos en este apartado, el calado nominal de una obra de atraque (h_1) situada en aguas abrigadas cuyo buque de máximo calado sea un portacontenedores de 8.000 TEU's, con calado estático a plena carga de 14,50 m, podrá estimarse en el entorno de los 15,60 m por debajo del nivel de referencia adoptado para las aguas exteriores debidas a mareas y regímenes fluviales (ventana de marea operativa o extraordinaria). El calado de proyecto considerando los factores relacionados con el fondo alcanzará los 16,60 m. Si el buque de proyecto es un Panamax (hasta 3.000 TEU), con calado estático a plena carga de 12,50 m, el calado nominal podrá estimarse en el entorno de 13,50 m y 14,50 m el calado de proyecto.

El calado del atraque se extenderá como mínimo a lo largo de toda la longitud de la línea de atraque, extendiéndose en cada extremo, cuando la obra de atraque no esté limitada, en una longitud igual a 0,15 veces la eslora correspondiente al buque de la flota esperable en el atraque de eslora máxima (L_{max}), siendo en este caso la longitud total no menor que $1,5L_{max}$. Es decir una longitud igual a:

$$L_a + 0,30L_{max} > 1,5L_{max} \quad (30)$$

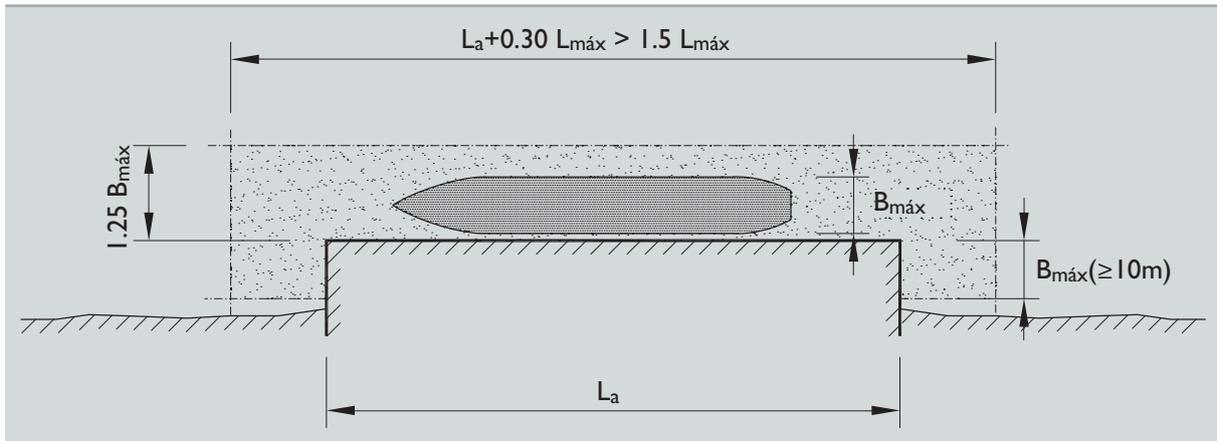
Y en una anchura igual a 1,25 veces la manga correspondiente al buque de mayor manga (B_{max}) de la flota. En el caso de obras de atraque donde exista la posibilidad de que una falsa maniobra del buque pueda llevar la proa por detrás de la línea de atraque, el calado de proyecto se extenderá también en una anchura igual a B_{max} por detrás de la línea de atraque, no menor de 10 m. (Ver figura 3.2.10).

Esta superficie formará una fosa de atraque, cuando los canales de acceso y áreas de maniobra admitan su dimensionamiento con menores niveles de operatividad por limitaciones de calado que el atraque.

La configuración del pie de muelle admite reducciones de calado en una distancia entre 0,50 y 1,50 m tomada desde el cantil, en función de la anchura de la defensa comprimida y la curvatura transversal del casco del buque.

(30) Cuando se considere en el proyecto que la maniobra de atraque y desatraque del buque se realizará con la ayuda de remolcadores la longitud mínima del atraque podrá reducirse a $1,25 L_{max}$.

Figura 3.2.10. Mínima extensión en planta del calado del atraque

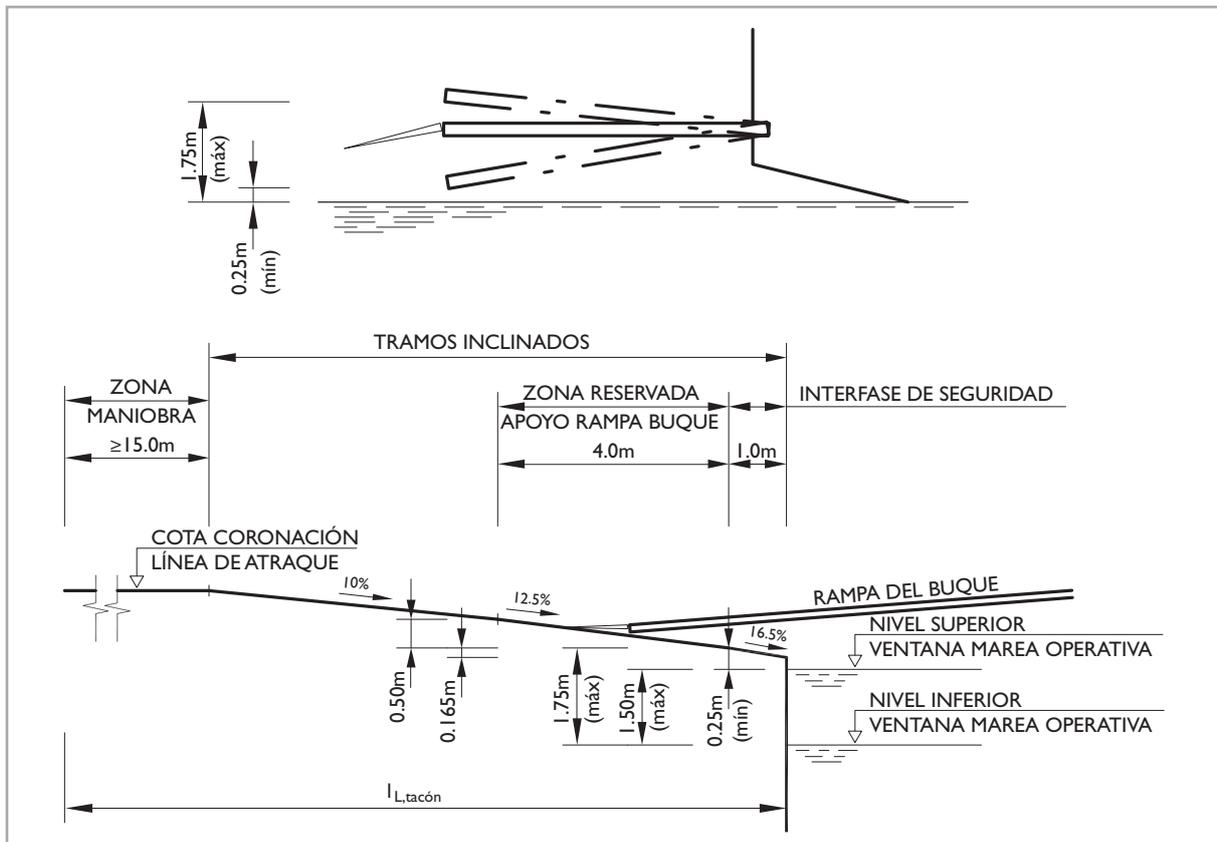


3.2.2.3. Perfil longitudinal de tacones y rampas

De acuerdo con lo establecido en el apartados 3.2.1.6 respecto a la posición y dimensionamiento en planta de tacones y rampas en lo que se refiere a:

- ◆ Los niveles operativos que pueden alcanzar los portalones de los buques.

Tabla 3.2.2.3. Taconón fijo. Perfil longitudinal estándar o indicativo de validez para buques con niveles operativos en sus portalones de propa o popa entre 0,25 m y 1,75 m por encima del nivel de aguas exteriores (En general buques con $\Delta_{PC} < 10.000$ t)



- ◆ La definición de las ventanas de marea operativas a adoptar.
- ◆ El tipo de tacón o rampa que debe utilizarse en función del rango de variación de los niveles superior e inferior de las aguas exteriores en la ventana de marea operativa adoptada.
- ◆ Los niveles de coronación necesarios de los bordes lado mar de los tacones y rampas.
- ◆ Los niveles de coronación de la línea de atraque.
- ◆ Las pendientes longitudinales requeridas para que puedan realizarse las operaciones de carga y descarga por rodadura con seguridad y eficiencia.

Y en coherencia con las dimensiones longitudinales mínimas en planta recomendadas en dichos apartados, los perfiles longitudinales tipo de tacones y rampas en la dirección del eje longitudinal de los buques son los siguientes.

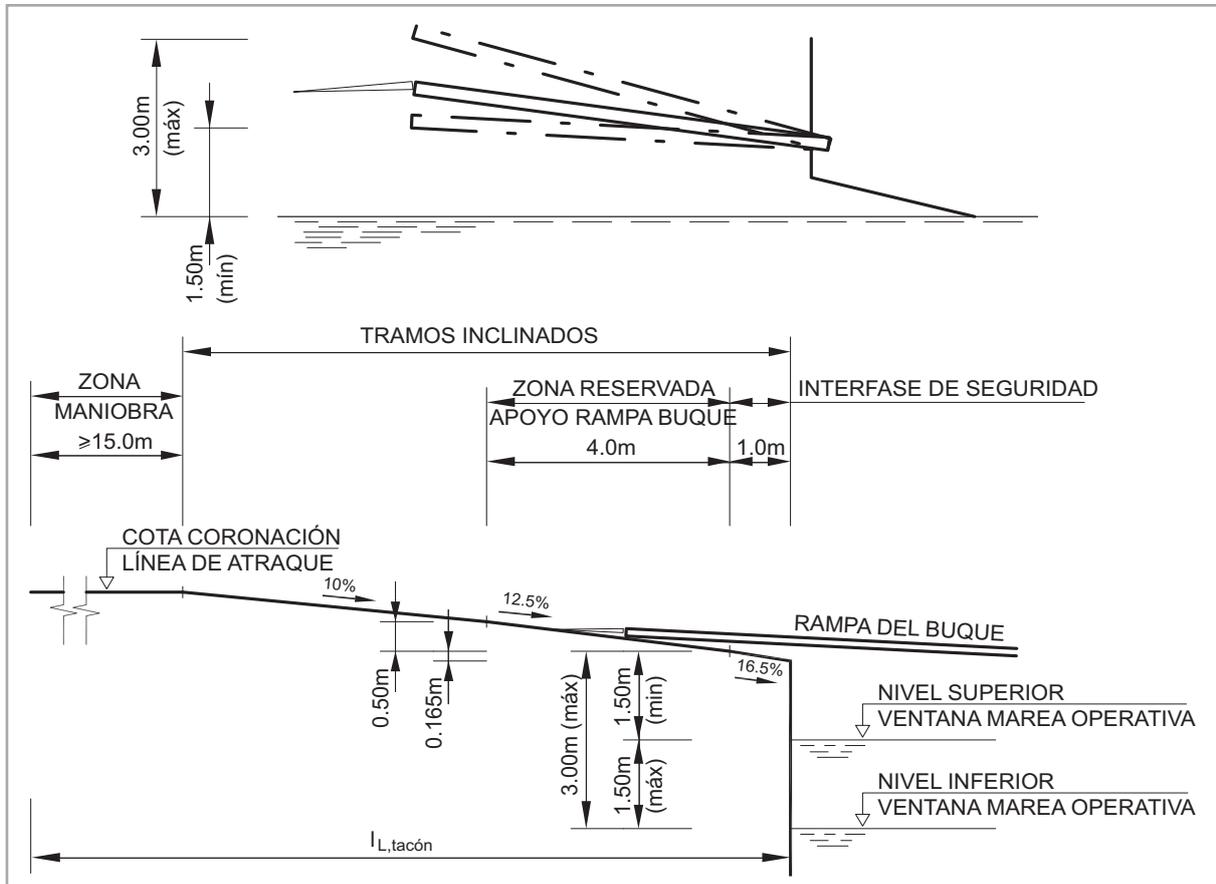
3.2.2.3.1. TACONES FIJOS

Para tacones fijos se diferencian dos tipos de perfiles longitudinales en función del rango de niveles operativos que pueden alcanzar los portalones de los buques de la flota prevista en la terminal.

Si dicho rango está entre 0,25 y 1,75 m por encima del nivel de las aguas exteriores, independientemente de la situación de carga (en general buques con $\Delta_{PC} < 10.000$ t), el perfil longitudinal estándar se recoge en la tabla 3.2.2.3.

Si dicho rango está entre 1,50 y 3,00 m por encima del nivel de las aguas exteriores, independientemente de la situación de carga (en general buques con $\Delta_{PC} \geq 10.000$ t), el perfil longitudinal estándar se recoge en la tabla 3.2.2.4.

Tabla 3.2.2.4. Tacón fijo. Perfil longitudinal estándar o indicativo de validez para buques con niveles operativos en sus portalones de proa o popa entre 1,50 m y 3,00 m por encima del nivel de aguas exteriores (En general buques con $\Delta_{PC} \geq 10.000$ t)



Si la flota prevista en el atraque está compuesta por buques de características diferentes en relación a los niveles operativos que pueden alcanzar sus portalones, deberá desagregarse en dos flotas a los efectos del dimensionamiento de la línea de atraque o ir a una solución de rampa móvil o tacón flotante que pueda dar servicio a toda la flota.

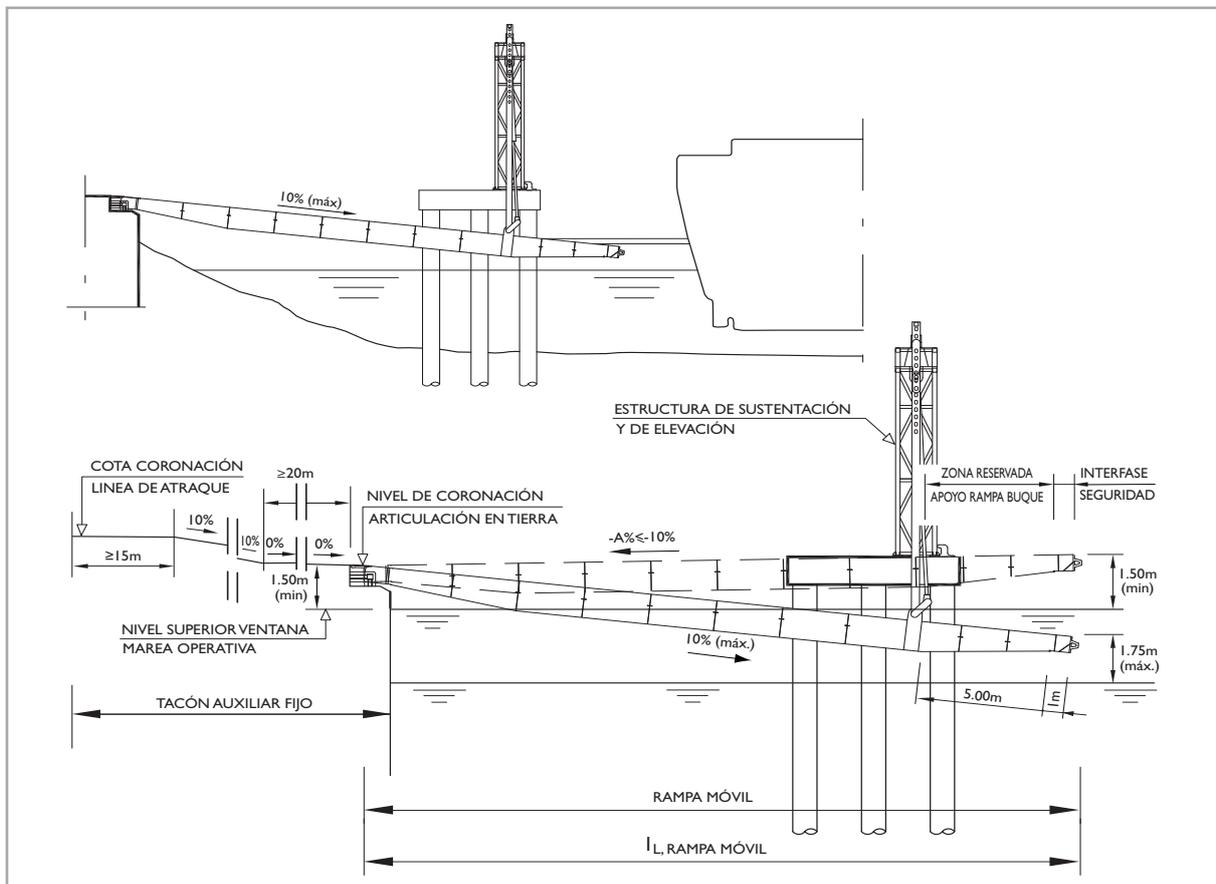
No obstante, en el caso de que el rango de variación de las aguas exteriores en la ventana de marea operativa adoptada fuera muy reducido ($\leq 0,25$ m), el perfil longitudinal estándar incluido en la tabla 3.2.2.4 permitiría dar servicio en un único tacón a todo tipo de buques.

3.2.2.3.2. RAMPAS MÓVILES Y TACONES FLOTANTES

Al contrario que en el caso de tacones fijos, con rampas móviles o tacones flotantes es posible, si se desea, dar servicio a todo el rango de niveles operativos existentes de los portalones de proa y popa con un único tipo de perfil longitudinal, independientemente de la composición de la flota y del rango de variación del nivel de las aguas exteriores en la ventana de marea operativa adoptada.

Para ello, en el caso de rampas móviles sustentadas en el lado mar mediante estructuras fijas que incluyan dispositivos elevadores con capacidad para mover la rampa, es necesario que el nivel superior que debe poder alcanzar la rampa móvil en el lado mar, medido en el lado interior de la interfase de seguridad, sea como mínimo el nivel superior de la ventana operativa + 1,50 m, y el nivel inferior de la rampa móvil en dicho punto sea como máximo el nivel inferior de la ventana de marea operativa + 1,75 m (ver apartado 3.2.1.6). Para estos casos, el perfil longitudinal estándar se recoge en la tabla 3.2.2.5.

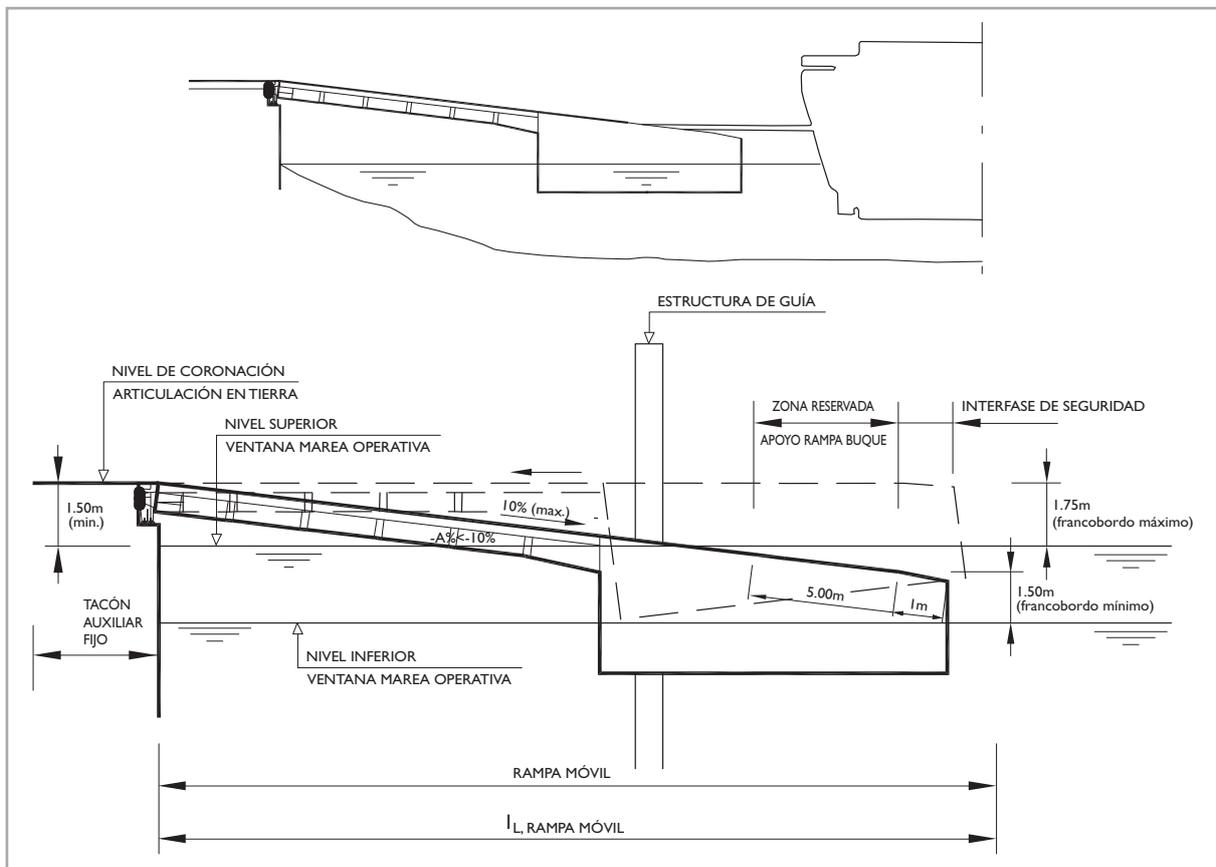
Tabla 3.2.2.5. Rampa móvil sustentada en el lado mar mediante estructuras fijas que incluyen dispositivos elevadores con capacidad para mover la rampa. Perfil longitudinal estándar con validez para todo tipo de buques



En el caso de rampas móviles sustentadas en el lado mar por flotación y tacones flotantes, es necesario que el francobordo de la rampa en el límite interior de la interfase de seguridad no sea mayor que 1,75 m en la situación de rampa o tacón flotante no cargado y no menor de 1,50 m en la situación de rampa o tacón flotante totalmente cargado. Para tacones flotantes, el perfil longitudinal estándar se recoge en la tabla 3.2.2.6. Para rampas móviles en la tabla 3.2.2.7.

En el caso de que la flota de buques prevista en el atraque sea homogénea en lo que respecta a los niveles operativos de los portalones, podrán variarse los anteriores niveles superiores e inferiores que deben alcanzar los bordes lado mar de las rampas y tacones flotantes de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en el apartado 3.2.1.6, adaptándose los perfiles longitudinales a los mismos conservando las pendientes longitudinales definidas para cada uno de los tramos.

Tabla 3.2.2.6. Tacón flotante. Perfil longitudinal estándar con validez para todo tipo de buques



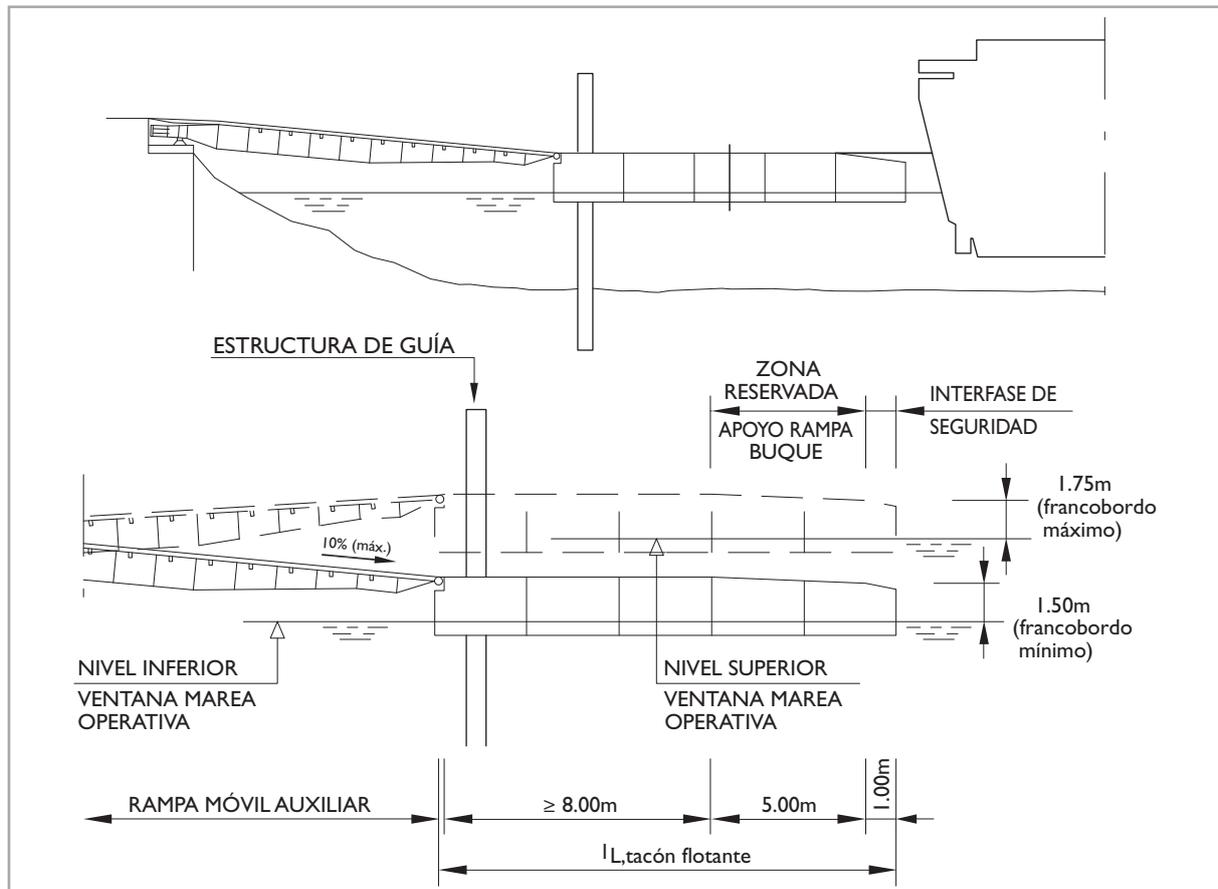
3.2.2.4. Pendientes del área de operación y almacenamiento

3.2.2.4.1. PENDIENTES EN EL ÁREA DE OPERACIÓN

- ◆ En configuraciones físicas de la instalación de atraque tipo muelle, con uso comercial y utilizando sistemas de carga y descarga de mercancías, o de embarque y desembarque de pasajeros, mediante equipos de rodadura sobre carriles
 - Pendientes transversales

El área de operación estará dotada únicamente de pendientes transversales (perpendiculares a la línea de atraque).

Tabla 3.2.2.7. Rampa móvil sustentada en el lado mar mediante estructura flotante. Perfil longitudinal estándar con validez para todo tipo de buques



Debido a los requerimientos establecidos por razones operativas y de seguridad para los equipos de manipulación de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros sobre carriles, el desnivel existente entre las cotas superiores de los carriles, medidos en cualquier sección transversal a su dirección de circulación, no debe ser en ningún momento superior a 10 mm. Por dicha razón, con el objeto de que no se produzcan encharcamientos indeseables en el espacio entre carriles, es conveniente dotar a dicha zona de pendientes transversales a dos aguas descendentes entre un eje intermedio situado a mayor cota, coincidente, en su caso, con la divisoria entre vías de circulación de equipos auxiliares y cada uno de los carriles. Se procurará que las pendientes transversales no sean inferiores al 1,00% ni tampoco superiores al 1,25%, si dicha zona se dedica al depósito temporal de mercancías y tapas de bodega, y al 1,75%, si se dedica exclusivamente a la circulación de equipos auxiliares o de vehículos de transporte. En cualquier caso, deberá quedar garantizado el cumplimiento del desnivel máximo admisible entre carriles en cualquier momento del periodo de servicio, considerando los asientos y deformaciones de la infraestructura de apoyo.

La zona situada entre la línea de atraque y el carril lado mar estará dotado de una pendiente a un agua hacia el cantil entre el 1,0 y el 1,75%. Por el contrario, la zona que va desde el carril lado tierra hasta el borde del área de almacenamiento, la pendiente también será a un agua hacia la línea de atraque. En este caso las pendientes oscilarán entre un mínimo del 1,0% y un máximo del 1,25%, cuando dicha zona se considere para el depósito de mercancías y tapas de bodega, o del 1,75% cuando se destine a la circulación de los equipos auxiliares de transferencia de carga.

La recogida de aguas de lluvia se llevará a cabo en canaletas (sumideros continuos) paralelas a la línea de atraque, protegidas por rejillas de acero que resistan las cargas concentradas transmitidas por

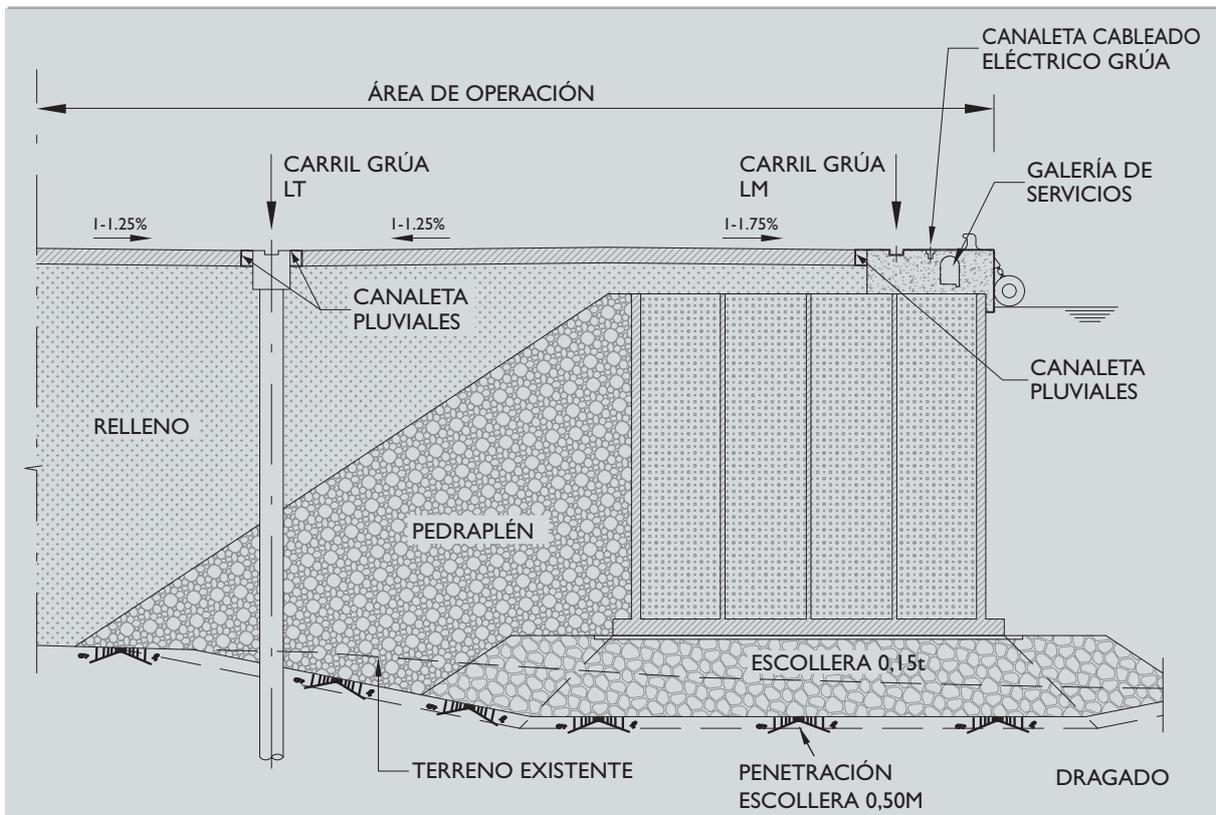
equipos de rodadura no restringida en la instalación, de manera que en la superficie no se produzcan irregularidades apreciables. Como mínimo se colocará una canaleta en el espacio entre carriles, adosada al lado mar, así como a ambos lados del carril de circulación de la grúa lado tierra y adosadas al mismo (ver figura 3.2.11). En terminales de graneles sólidos no se permite que la escorrentía vierta directamente al mar sin haberse filtrado antes.

■ Pendientes longitudinales

Debido a las exigencias establecidas para los carriles de circulación de los equipos de carga y descarga de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros por razones operativas y de seguridad ⁽³¹⁾, así como a la conveniencia de que la cota de coronación se mantenga constante a lo largo de toda la línea de atraque, no se considera conveniente dotar al área de operación de pendiente longitudinal (paralela a la línea de atraque). Las desviaciones verticales, debidas a causas constructivas o a deformaciones de la estructura resistente, máximas admisibles de los niveles superiores de un carril respecto a su posición teórica, medidas en dirección longitudinal, son las siguientes:

- La relativa entre dos puntos cualesquiera de un mismo carril separados una longitud (L) no menor de 2,0 metros, no será mayor que $L/2000$.
- La de cualquier punto del carril respecto a su posición teórica no superará a ± 10 mm.

Figura 3.2.11. Pendientes en el área de operación en configuraciones físicas de la instalación de atraque tipo muelle, con uso comercial y utilizando sistemas de carga y descarga de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros mediante equipos de rodadura restringida sobre carriles



(31) Ver normas de la Federación Europea de la Manutención (FEM)

- ◆ En configuraciones físicas de la instalación de atraque tipo muelle, con uso comercial (excepto pasajeros) y utilizando sistemas de carga y descarga de mercancías por rodadura

Las pendientes del área de operación de las instalaciones de atraque de uso ro-ro con configuraciones físicas de la obra de atraque tipo muelle serán en la medida de lo posible solamente a un agua y transversales (perpendiculares) a la línea de atraque, con el objeto de que esta línea se mantenga a una cota constante a lo largo de toda la longitud del atraque. Se procurará que estas pendientes transversales sean superiores al 1% e inferiores al 1,75%. Estas pendientes tendrán continuación en la zona de maniobra de los tacones con el objeto de que no se puedan producir encharcamientos no deseables en dicha zona.

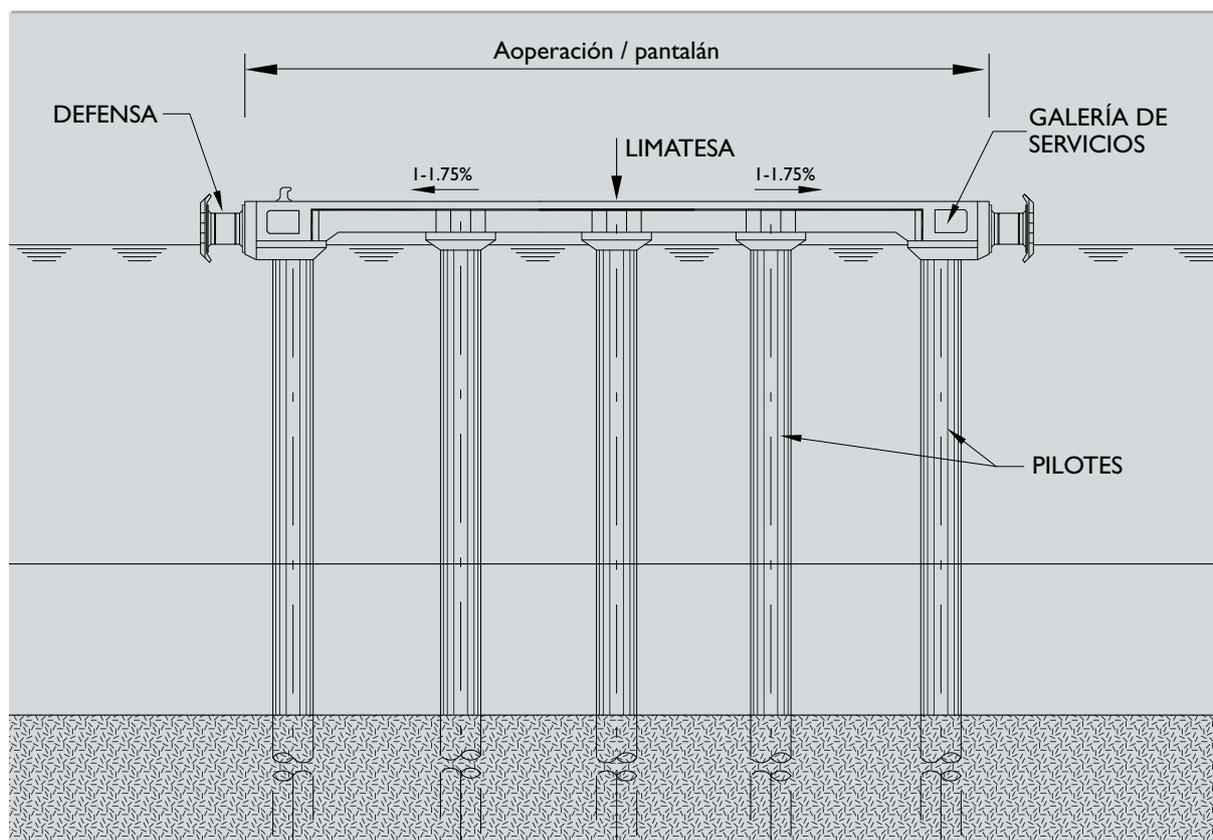
La recogida de las aguas de lluvia se llevará a cabo en canaletas (sumideros continuos) paralelas a la línea de atraque. Como mínimo se colocará una canaleta en el borde lado mar del área de operación, situada lo más próxima posible al cantil que permita la superestructura de coronación de la infraestructura de atraque.

- ◆ En configuraciones físicas de la instalación de atraque tipo pantalán, con uso comercial (excepto pasajeros) y utilizando sistemas de carga y descarga de mercancías por rodadura

En instalaciones de atraque de uso comercial ro-ro con configuraciones físicas de la obra de atraque tipo pantalán, los criterios señalados para las instalaciones de atraque ro-ro con configuraciones físicas tipo muelle también serán de aplicación a la parte del área de operación perpendicular u oblicua a la línea de atraque.

En el pantalán propiamente dicho, las pendientes serán transversales (perpendiculares) a la línea de atraque, a dos aguas descendentes entre el eje central del pantalán situado a mayor cota y las líneas de atraque. Las pendientes estarán en el mismo rango (1.0-1.75%) que las indicadas para la otra zona del área de operación (Ver figura 3.2.12).

Figura 3.2.12. Pendientes en el área de operación en configuraciones físicas de la instalación de atraque tipo pantalán, con uso comercial ro-ro sin uso de pasajeros



En la parte del área de operación perpendicular u oblicua a la línea de atraque, las canaletas se situarán paralelas al borde lado mar de dicha área, con la misma orientación longitudinal que dicha parte del área de operación. Como mínimo se colocará una canaleta en el borde lado mar de dicha zona, situada lo más próxima posible al cantil que permita la superestructura de coronación de la infraestructura de atraque o de defensa, según la configuración física de la obra de atraque. En la parte del área de operación coincidente con el pantalán propiamente dicho, no se considera necesario ubicar canaletas y sumideros para la recogida de pluviales.

- ◆ *En configuraciones físicas de la instalación de atraque tipo pantalán, con uso comercial de pasajeros y utilizando equipos de embarque y desembarque de pasajeros mediante equipos de rodadura restringida sobre carriles*

En las instalaciones de atraque para pasajeros con configuraciones físicas de la obra de atraque tipo pantalán, las pendientes de la parte del área de operación perpendicular u oblicua a la línea de atraque, así como la posición de las canaletas para la recogida de las aguas pluviales en dicha zona, se fijarán de acuerdo con los criterios establecidos para el área de operación de las instalaciones de atraque Ro-Ro con configuraciones físicas tipo muelle.

En el pantalán propiamente dicho, las pendientes serán transversales (perpendiculares) a la línea de atraque, siendo recomendable que tengan los siguientes valores (Ver figura 3.2.6):

- La franja entre el cantil y el carril lado mar de los equipos móviles para el embarque y desembarque de pasajeros: pendiente a un agua hacia el cantil entre el 1 y el 1,75%.
- El espacio entre carriles de los equipos móviles para el embarque y desembarque de pasajeros : pendiente a dos aguas descendentes entre el 1 y el 1,75%, debiendo quedar garantizado el cumplimiento del desnivel máximo admisible entre carriles en cualquier momento del periodo de servicio (10 mm), considerando los asientos y deformaciones de la infraestructura de apoyo.
- El espacio entre el eje de la estructura de apoyo de la pasarela elevada fija de acceso al equipo móvil de embarque y desembarque de pasajeros y el carril lado tierra de dicho equipo móvil: pendiente a un agua hacia el cantil entre el 1 y el 1,75%.
- El espacio entre el eje de la estructura de apoyo de la pasarela fija y, en su caso, el cantil del lado no atracable del pantalán: pendiente a un agua en sentido contrario a la línea de atraque entre el 1 y el 1,75%.

En general, en el pantalán no se considera necesario ubicar canaletas y sumideros para la recogida de pluviales.

3.2.2.4.2. PENDIENTES EN EL ÁREA DE ALMACENAMIENTO

Las pendientes en el área de almacenamiento deberán ser no inferiores al 1% ni superiores al 1,25%. Podrán ser a un agua o a varias aguas y deberán compatibilizarse con la forma de la superficie disponible, con el tamaño y la disposición de huellas adoptada, con los requerimientos exigidos por los equipos de manipulación y transporte utilizados en dicho área, con los niveles del borde lado tierra del área de operación y con los niveles de los accesos terrestres, así como con la posición y capacidad de los sistemas de evacuación de las aguas pluviales.

En el caso de que se utilicen sistemas de manipulación de mercancías en patio sobre carriles o neumáticos de movilidad restringida (p.e. pórticos RMG, ASC, RTG, puentes grúas,...), en ausencia de criterios específicos del Promotor de la instalación serán de aplicación los requerimientos de pendientes longitudinales y transversales establecidos en esta Recomendación para los equipos de manipulación sobre carriles en el área de operación.

Sin perjuicio de lo anterior, siempre que sea posible es recomendable dotar al área de almacenamiento únicamente de pendientes transversales (perpendiculares a la línea de atraque).

3.3 BASES DE DISEÑO

3.3.1. Procedimiento de verificación

La verificación de que una obra de atraque y amarre en su conjunto, sus tramos y elementos alcanzan los niveles de fiabilidad, aptitud al servicio y operatividad exigidos se realizará mediante cálculos justificativos, salvo

en aquellos casos en los que el estudio del comportamiento de la obra fuera más fiable a través de otros procedimientos como los modelos experimentales, los modelos en prototipo o a partir de métodos observacionales cuyos resultados puedan ser extrapolables.

Los cálculos que se realicen para verificar proyectos incluidos dentro del alcance de esta Recomendación deben encuadrarse, siempre que sea posible, dentro del procedimiento general de cálculo conocido como “método de los estados límite”. Este procedimiento queda establecido en detalle en la ROM 0.0 y consiste en la simplificación de comprobar los distintos modos de fallo o parada operativa en solamente aquellos estados que se consideran que representan las situaciones límite desde el punto de vista del comportamiento resistente (estados límite últimos, ELU), de aptitud al servicio (estados límite de servicio, ELS) y de uso y explotación (estados límite operativos, ELO) a las que se considera que está sometida la obra. A estos estados límite se les denomina *estados o situaciones de proyecto* y están asociados con probabilidades de presentación en cada uno de los ciclos de solicitud (condiciones de trabajo) a los que está sometida la obra durante la fase de proyecto analizada. Se considera *estado* al intervalo de tiempo en la que los factores de proyecto y la respuesta estructural o funcional de la obra pueden suponerse estacionarios estadísticamente, lo que permite que ambos puedan ser descritos por funciones de probabilidad y por sus correspondientes descriptores estadísticos.

Mediante este procedimiento de cálculo, se entiende que una obra de atraque y amarre es suficientemente fiable, apta para el servicio y operativa cuando la probabilidad de que, durante cualquier fase de proyecto, ocurra un modo de fallo o de parada perteneciente al árbol o diagrama de fallo correspondiente a cada una de las series de estados límite (últimos, de servicio u operativos respectivamente) que se presentan en dicha fase, considerando todos los ciclos de solicitud a los que está sometida la obra, es menor que la exigida para cada uno de estos modos una vez repartida adecuadamente entre los mismos la probabilidad de fallo o parada establecida para el conjunto de la obra, la cual deberá ser menor que la máxima definida como admisible por esta Recomendación para dicha obra en la fase considerada (ver apartado 3.4.4). Dicho de otra forma, cuando, para cada uno de los modos, no se produzca el fallo o la parada operativa de la obra en los *estados* pertenecientes a cada ciclo de solicitud cuya probabilidad de presentación conjunta en la fase de proyecto considerada sea mayor que la asignada a dicho modo en el correspondiente árbol o diagrama de fallo.

3.3.2. Modos de fallo asociados a Estados Límite Últimos (ELU)

Los modos de fallo asociados a estados límite últimos (ELU) son aquéllos que producen la ruina de la obra o de una parte de la misma por rotura o colapso estructural. A los efectos de ordenar los cálculos, en las obras de atraque y amarre los principales modos de fallo que deben considerarse adscritos a los estados límite últimos pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- ◆ **EQU: Pérdida de equilibrio estático.** La obra o una parte de la misma pierde sus condiciones de estabilidad sin que la resistencia de los materiales de la estructura o la resistencia del terreno jueguen algún papel apreciable en ello. Es el caso del “vuelco rígido” de un muelle.
- ◆ **STR: Estructurales o de inestabilidad interna.** La obra o parte de la misma alcanza su capacidad resistente o se produce en la misma una deformación local o global o cambios en la geometría de la obra excesivos que puede llevar al agotamiento estructural. En dichos modos de fallo la resistencia de los materiales constitutivos desempeña un papel esencial. La fatiga y la estabilidad geométrica se consideran casos particulares de este grupo de modos de fallo. Un ejemplo de estos modos de fallo puede ser el agotamiento de la pared exterior de un cajón ante esfuerzos de tracción y flexión.
- ◆ **GEO: Geotécnicos o de inestabilidad externa.** Son aquellos fallos debidos a la rotura o deformación del terreno sobre el que se asienta la obra, excesiva para la seguridad estructural. En dichos modos de fallo la resistencia del terreno desempeña un papel esencial. La pérdida de la estabilidad global se considera incluida en este grupo de modos de fallo. Ejemplos de estos modos de fallo puede ser el hundimiento o el deslizamiento profundo de una obra de gravedad.

- ◆ UPL: **Fallos debidos al exceso de la presión de agua.** Son aquellos fallos producidos por levantamientos o hundimientos provocados por excesos de presión hidrostática o hidrodinámica en los que la resistencia del terreno y de la estructura desempeñan un papel secundario. Un ejemplo de estos modos de fallo puede ser el hundimiento de obras de atraque o amarre flotantes en fase de servicio o de construcción por inundación.
- ◆ HYD: De **inestabilidad hidráulica.** Fallos ocasionados por la existencia de gradientes hidráulicos en el terreno o en rellenos, por las fuerzas de arrastre generadas por éstos, así como por los movimientos de las aguas libres exteriores. Ejemplos de estos modos de fallo pueden ser el levantamiento del terreno frente a un muelle de tablestacas o las erosiones externas o socavaciones en el pie del intradós o en los taludes de protección de las obras de atraque debidas a la acción de corrientes naturales o generadas por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques, o el oleaje.

Dichos grupos constituyen un mayor desarrollo de los incluidos con carácter general en la ROM 0.0 con el objeto de destacar, sistematizar y facilitar el análisis de los modos de fallo que afectan a las obras de atraque y amarre. No se incluyen modos de fallo de colapso progresivo ya que en esta ROM se recomienda, como simplificación de los cálculos del lado de la seguridad, no tomarlos en consideración en el proceso de verificación al considerarse únicamente diagramas de fallo formados por modos de fallo en serie.

A lo largo de esta ROM se analizarán los modos de fallo específicos que han de considerarse para la verificación de la fiabilidad de cada una de las tipologías de obra de atraque y amarre y se darán criterios para establecer la ecuación de verificación correspondiente.

3.3.3. Modos de fallo asociados a Estados Límite de Servicio (ELS)

Los modos de fallo asociados a estados límite de servicio (ELS) son todos aquellos estados que producen la pérdida total o parcial de funcionalidad de la obra o de parte de ella, de forma reversible o irreversible, debido a un fallo estructural, de tipo formal o estético, ambiental o por condicionante legal. En los estados límite de servicio se incluyen todos aquellos modos de fallo que, no siendo últimos, reducen o condicionan el uso y explotación de la obra o que pueden significar una reducción de su vida útil.

En algunos casos, la adscripción de un modo de fallo a estados límite últimos o de servicio no es clara. En estos casos se recomienda analizar tanto la modalidad del fallo como la temporalidad. Cuando el modo de fallo responde a una patología o se produce por la acción de uno o varios agentes durante un intervalo de tiempo mucho menor que la vida útil de la obra, el modo de fallo debe adscribirse a ELU. Por otra parte si la ocurrencia del modo de fallo se puede retrasar o impedir mediante una adecuada estrategia de conservación de la obra el modo de fallo puede adscribirse a ELS.

En obras de atraque y amarre, los principales modos de fallo asociados que deben considerarse adscritos a ELS pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- ◆ DUR: **Durabilidad.** Son aquellos fallos debidos a la pérdida de durabilidad de la obra, considerando durabilidad a la combinación de la capacidad de los materiales para mantener las características especificadas en el proyecto a lo largo del tiempo frente a los agentes del medio físico, del terreno, de la construcción o de uso y explotación, conjuntamente con la capacidad de la obra para mantenerse funcionando durante toda la vida útil con niveles aceptables de servicio incluso después de que el material haya comenzado a degradarse. Un ejemplo de estos modos de fallo es la fisuración del hormigón o la corrosión de una tablestaca metálica.
- ◆ REP: **Reparabilidad.** Son aquellos fallos asociados al máximo nivel de daños de la obra que permiten la utilización de procedimientos previstos y planificados de mantenimiento y reparación. Un ejemplo de estos fallos es la iniciación de averías en el manto de protección en un talud de escollera en un muelle de pilotes.

- ◆ **VIB: Vibraciones excesivas.** Son aquellos fallos que producen la pérdida de funcionalidad de la obra por causa de la amplitud o frecuencia de vibraciones sobre la misma. Un ejemplo de estos modos pueden ser los daños en elementos e instalaciones de manipulación en un pantalán o duque de alba por vibraciones inducidas directamente por la acción del oleaje, por ondas largas o por las acciones de amarre, con consecuencias en la normal explotación de la instalación.
- ◆ **DEX: Deformaciones excesivas.** Son aquellos modos de fallo que producen la pérdida o limitan la normal explotación de la obra de atraque por causa de deformaciones, desplazamientos o asentamientos excesivos debido a causas estructurales, geotécnicas o hidráulicas. Un ejemplo de estos modos de fallo puede ser una flecha superior a las tolerancias para el uso y explotación de los equipos de manipulación.
- ◆ **EST: Estéticos.** Son aquellos modos de fallo que afectan al cumplimiento de aspectos formales requeridos para la obra. Como ejemplos de estos modos de fallo pueden citarse las pérdidas de alineación del cantil o de verticalidad de un muelle.

Dichos grupos constituyen un desarrollo de los incluidos con carácter general en la ROM 0.0 con el objeto de destacar, sistematizar y facilitar el análisis de los modos de fallo que afectan a las obras de atraque y amarre. A su vez y por idéntica razón, se incluyen como modos de fallo de deformaciones excesivas prácticamente todos los modos de fallo de origen geotécnico adscritos a ELS recogidos en la ROM 0.5, al recogerse en dicho grupo todos los fallos producidos por deformaciones o movimientos excesivos independientemente de la causa que los produzca.

3.3.4. Modos de parada asociados a estados límite de parada operativa (ELO)

Los modos de parada asociados a los estados límite operativos (ELO) son aquellos estados en los que se reduce o suspende temporalmente la explotación de la instalación de atraque por causas ajenas a la obra o sus instalaciones, sin que haya daño estructural ni formal en ellas o en algunos de sus elementos. En general, la explotación se detiene para evitar que lleguen a producirse daños en la obra y sus elementos, en el buque y en los equipos de manipulación de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros, dar lugar a consecuencias ambientales y sociales inaceptables o afectar la seguridad de pasajeros y mercancías. Una vez que la causa que produce la parada operativa ha cesado, la obra de atraque recupera todos los requisitos de explotación proyectados. Generalmente estos estados están asociados a la excedencia de factores climáticos o a condicionantes legales o de seguridad.

En obras de atraque y amarre, los principales modos de parada operativa adscritos a ELO pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- ◆ **ACS: Suspensión de la accesibilidad del buque a la instalación de atraque (y de la posibilidad de partida del buque desde el puesto de atraque).** La parada operativa de la obra de atraque y amarre está ocasionada por la imposibilidad de que el buque pueda acceder o partir de la instalación y atracar (o desatracar) en condiciones seguras con los medios de explotación disponibles (remolcadores, defensas, etc.). Los principales modos de parada o causas de suspensión de la accesibilidad marítima a una instalación de atraque son:
 - Suspensión por insuficiencia de calado en el canal de acceso y áreas de maniobra.
 - Suspensión por insuficiencia de dimensiones en planta del canal de acceso y áreas de maniobra.
 - Suspensión por inoperatividad de medios auxiliares necesarios para el acceso y para las maniobras del buque (remolcadores, ...).
 - Suspensión por condiciones insuficientes de visibilidad.

Estas causas de suspensión no deben dar lugar a condiciones más limitativas que las debidas a las causas de suspensión de la permanencia del buque en el atraque, ya que debe garantizarse el acceso de los buques al puesto de atraque o su salida del mismo para las condiciones límite de permanencia del buque en el atraque.

- ◆ **ATR: Paralización de las operaciones de atraque.** La parada operativa de la obra de atraque está ocasionada por la imposibilidad de realizar las maniobras de atraque en condiciones seguras con los medios de explotación disponibles (remolcadores, ...). Las causas de paralización de las operaciones de atraque es recomendable que sean las mismas que las de suspensión de la accesibilidad del buque a la instalación de atraque ya que es conveniente que un buque pueda atracar siempre que pueda acceder al puesto de atraque para no aumentar innecesariamente los tiempos de espera y, por tanto, para no reducir los niveles de servicio. No obstante, cuando alguna causa de suspensión de la permanencia del buque en el atraque de lugar a condiciones más limitativas que las debidas a la suspensión de la accesibilidad marítima, deberá considerarse dichas causas de suspensión también como causas de paralización de las operaciones de atraque, ya que un buque debe poder permanecer en el atraque siempre que pueda atracar en el mismo.
- ◆ **PER: Suspensión de la permanencia de los buques en el atraque.** La parada operativa de la obra de atraque y amarre está ocasionada por la imposibilidad de que el buque pueda permanecer atracado en la misma en condiciones seguras con los medios de explotación disponibles. Los principales modos de parada o causas de suspensión de la permanencia de los buques en el atraque son:
 - Suspensión por no quedar garantizada la funcionalidad del buque en el atraque por incompatibilidad entre la configuración del sistema de amarre prevista, los medios auxiliares disponibles en el puerto (p.e. remolcadores), en su caso, y los movimientos del buque.
 - Suspensión por insuficiencia de calado.
 - Suspensión por superación de la máxima carga admisible en el casco del buque o en alguno de los elementos que conforman el sistema de atraque (defensas, bolardos, líneas de amarre, ...).
 - Suspensión por situación de emergencia del buque o de la instalación de atraque por causas propias o ajenas.
- ◆ **CAR: Paralización de las operaciones de carga y descarga del buque o de embarque y desembarque de pasajeros.** La parada operativa de la obra de atraque y amarre está ocasionada por la imposibilidad de que puedan desarrollarse en la misma las operaciones de carga y descarga, o de embarque y desembarque de pasajeros, en condiciones seguras con el equipamiento disponible. Los principales modos de parada o causas de paralización de las operaciones de carga y descarga y de embarque y desembarque de pasajeros son:
 - Paralización por razones de seguridad de los equipos de manipulación o de embarque y desembarque de pasajeros, así como de la operativa de los mismos, asociadas con aspectos resistentes, funcionales o ambientales.
 - Paralización por incompatibilidad de movimientos de buque atracado con las operaciones de carga y descarga o de embarque y desembarque de pasajeros.
 - Paralización por insuficiencia de las alturas máximas de elevación de los equipos de carga y descarga del buque sobre el nivel de coronación del atraque.
 - Paralización por incompatibilidad entre los niveles del borde lado mar de tacones y rampas y los niveles de los portones de los buques, así como entre las pendientes y acuerdos entre planos inclinados de los mismos con los vehículos o los equipos de manipulación por medios rodantes.
 - Paralización por rebases de las aguas exteriores o de los niveles freáticos en el trasdós por encima del nivel de coronación del atraque.

Dichos grupos constituyen un desarrollo de los incluidos con carácter general en la ROM 0.0 con el objeto de destacar, sistematizar y facilitar el análisis de los modos de parada operativa que afectan a las obras de atraque y amarre.

3.3.5. Métodos de cálculo

Como se indicó anteriormente, el objetivo de los métodos de cálculo de los estados límite es verificar que una obra o un tramo de la misma en cada una de las fases de proyecto cumple los requisitos de segu-

ridad, servicio y uso y explotación exigidos en esta ROM y en otras normas que sean de aplicación. Para ello deberá verificarse el proyecto para todos y cada uno de los modos de fallo y de parada que puedan presentarse en cada tipo de estado límite, evaluar sus probabilidades de ocurrencia y la probabilidad conjunta de presentación de todos los modos de fallo principales, de forma que no se superen los valores recomendados.

Los modos de fallo o parada se definen, ordenan, correlacionan y secuencian por medio del establecimiento de los árboles de fallo o parada, correspondientes a cada una de las series de estados límite, en los que se manifiestan las diferentes maneras, formas o mecanismos en los que puede producirse, respectivamente, el fallo último, de servicio o la parada operativa de la obra o de un tramo de la misma.

Del conjunto completo de modos fallo o parada se deben identificar los que se producen simultáneamente, los mutuamente excluyentes y los no excluyentes. Y entre estos últimos los que son independientes entre sí y los que están correlacionados. No obstante, dada la complejidad de los árboles de fallo, siempre que resulte factible, es admisible del lado de la seguridad simplificar el proceso, considerando únicamente en el árbol de fallo un conjunto completo de modos de fallo que no se producen simultáneamente, en el que todos los mecanismos de fallo o parada quedan descritos, organizándolos en serie y considerando que son mutuamente excluyentes. A este árbol de fallo simplificado le denominamos *diagrama de fallo o parada*. La utilización de estos diagramas permite análisis mucho más sencillos y verificar la obra del lado de la seguridad.

El conjunto de modos de fallo o parada establecidos con este criterio, tanto si son mutuamente excluyentes como si no lo son, satisfacen el requisito de proyecto en lo referente a la probabilidad de fallo o parada conjunta si la suma de las probabilidades de ocurrencia de cada modo incluido en el diagrama de fallo o parada es menor que la probabilidad conjunta requerida, al ser dicha suma una cota superior de la probabilidad de fallo o parada. De esta forma se puede trasladar fácilmente la verificación del conjunto de la obra a la verificación de cada uno de los modos incluidos en el diagrama de fallo, calculando que su probabilidad de presentación sea menor que la que le corresponda en cada caso una vez adecuadamente repartida entre todos ellos la probabilidad conjunta de fallo o parada establecida como requisito de proyecto (ver apartado 3.4.4).

Los modos de fallo o parada que contribuyen en mayor medida a la probabilidad conjunta, al haberseles asignado probabilidades del mismo orden de magnitud que el de ésta debido a que mejorar la fiabilidad, la funcionalidad o la operatividad de la obra frente a los mismos es muy difícil o realizable únicamente mediante aumentos muy importantes de los costes de la obra, se denominan *modos de fallo o parada principales*, considerándose, por tanto, que a los efectos prácticos tales modos son los únicos determinantes para la probabilidad conjunta. Por el contrario los modos de fallo o parada no principales son aquéllos que con pequeños incrementos de los costes de la obra se puede mejorar sustancialmente la fiabilidad, funcionalidad u operatividad de la obra frente a los mismos. Los modos de fallo o parada considerados como no principales deberán verificarse con criterio incondicional de no fallo (probabilidad de fallo $p_f < 10^{-4}$ para modos de fallo adscritos a estados límite últimos, probabilidad de fallo $p_f < 0,07$ para modos de fallo adscritos a estados límite de servicio y probabilidades de parada $p_{parada} < 10^{-3}$ para modos de parada adscritos a estados límites de parada operativa).

La comprobación de que se produce el fallo o no fallo de un determinado modo se realiza a través de la formulación y resolución de una ecuación de verificación en el estado límite correspondiente a cada ciclo de sollicitación a los que está sometida la obra durante la fase considerada (formulación determinista y determinista-probabilista) o en todos los estados de cada ciclo de sollicitación (formulación probabilista). La ecuación de verificación separa el dominio de fallo del dominio de no fallo.

La ecuación de verificación es una ecuación de estado y, por tanto, independiente del tipo de formulación utilizada para la misma.

Con carácter general, esta ecuación se formula en términos en margen de seguridad:

$$g(X_i) = R(X_1, \dots, X_m) - S(X_{m+1}, \dots, X_{m+n}) \geq 0$$

o de coeficiente de seguridad:

$$g'(X_i) = R(X_1, \dots, X_m) / S(X_{m+1}, \dots, X_{m+n}) \geq 1$$

siendo X_i los distintos factores de proyecto que inciden en el proceso, R el conjunto de los términos favorables (que contribuyen a que no se produzca el fallo) y S el conjunto de los términos desfavorables (que inducen o provocan el fallo).

Los factores de proyecto X_i serán los correspondientes al estado límite considerado, estando definidos por valores concretos representativos de dicho estado (formulación determinista y determinista-probabilista) o bien definidos a través de funciones de densidad o de distribución representativas del ciclo de sollicitación considerado (formulación probabilista). En este último caso, las ecuaciones de verificación se expresarán en términos de probabilidad de fallo o parada durante un periodo de referencia (fase de proyecto). Es decir,

$$p_f = Prob [g \leq 0]$$

$$p_f = Prob [g' \leq 1]$$

Para aquellos modos de fallo de aplicación a las obras de atraque y amarre que sean verificables de acuerdo con un determinado método de cálculo, las correspondientes ecuaciones de verificación se incluirán en las sucesivas Recomendaciones de la serie 2 (Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre) para cada una de las tipologías estructurales de las obras de atraque y amarre. Las ecuaciones de verificación de los modos de fallo geotécnicos se consignan en la ROM 0.5. Recomendaciones geotécnicas para las obras marítimas y portuarias y las correspondientes a modos de fallo estructurales en las Normas o Instrucciones específicas de los materiales (de hormigón, acero, ...).

La ecuación de verificación de los modos de parada será del tipo:

$$P_{parada} \leq P_{f, ELO} = 1 - r_{f, ELO}$$

Es decir, deberá verificarse que la probabilidad de que en el año medio (o en otros intervalo de tiempo como periodos estacionales en función de las características de la instalación de atraque) se presente un modo de parada es menor que el valor asignado a la misma en el árbol o diagrama de parada.

Para la verificación de modos de parada, en primer lugar deberán determinarse, en magnitud y dirección, los valores umbrales de las variables de los agentes atmosféricos y climáticos marinos, así como de los agentes operativos, consideradas sucesivamente como predominantes, cuya excedencia da lugar al modo de parada operativa, los cuales definen a su vez los estados límites de los ciclos de sollicitación asociados a la explotación de la instalación de atraque (condiciones de trabajo operativas) correspondientes al modo de parada considerado. Una vez definidos dichos valores umbrales, el dominio de fallo que permite obtener la probabilidad de parada correspondiente al modo de parada considerado viene definido por los valores que exceden a los valores umbral. Es decir:

$$X_1 > X_{1,0}, X_2 > X_{2,0}, \dots X_i > X_{i,0}$$

siendo $X_{i,0}$ el valor límite de operatividad de la variable X_i para el modo de parada considerado.

Las ecuaciones que permiten determinar los umbrales de operatividad de las variables que inciden en cada uno de los modos de parada se incluyen en el Capítulo 4 de esta Recomendación, ya que es imprescindible su resolución para establecer los ciclos de sollicitación operativos a los que está sometida la instalación de atraque analizada (Ver apartado 4.6.4.2 para los modos de parada asociados con la paralización de las operaciones de carga y descarga del buque o de embarque y desembarque de pasajeros, apartado 4.6.4.4.3 para los asociados con la suspensión de las operaciones de atraque, apartado 4.6.4.4.7. para los asociados a la suspensión de la permanencia del buque en el atraque y ROM 3.1-99 para los asociados con la accesibilidad del buque a la instalación de atraque).

3.3.5.1. Formulación de la ecuación de verificación

La ecuación de verificación podrá aplicarse a través de las siguientes formulaciones:

3.3.5.1.1. FORMULACIÓN DETERMINISTA

Esta formulación podrá emplearse cuando la variabilidad de los factores que intervienen en la ecuación de verificación no sea significativa en el ciclo de sollicitación considerado y para el modo de fallo analizado. Asimismo podrá utilizarse cuando todos los factores de proyecto se definan a través de valores deterministas, al no disponerse de datos suficientes sobre la variabilidad de los mismos en el emplazamiento.

El estado límite correspondiente a cada modo de fallo y ciclo de sollicitación (condición de trabajo) queda definido por valores nominales ⁽³²⁾ de los factores en el caso de que la variabilidad de los mismos no sea significativa o por valores deterministas ⁽³³⁾ de éstos cuando no se disponga de datos fiables sobre su variabilidad, calculándose todos los términos de la ecuación de verificación con dichos valores, afectados por coeficientes de seguridad definidos en función de los objetivos de seguridad o funcionalidad requeridos.

En este caso, la ecuación de verificación se modifica asignando a la misma un coeficiente de seguridad global (F), definido asimismo en función de los objetivos de seguridad o funcionalidad. Es decir:

$$g(X_i) = R(X_1, \dots, X_m) - S(X_{m+1}, \dots, X_{m+n}) \geq F_1$$

$$o$$

$$g'(X_i) = R(X_1, \dots, X_m) / S(X_{m+1}, \dots, X_{m+n}) \geq F_2$$

Las formulaciones deterministas no permiten obtener directamente la probabilidad de presentación de los modos de fallo, adoptándose generalmente coeficientes globales y parciales asociados con la condición incondicional de no fallo ($p_f < 10^{-4}$) o, a lo sumo, con probabilidades de presentación bajas ($< 0,05$).

En las sucesivas Recomendaciones de la Serie 2, correspondientes a cada tipología estructural de las obras de atraque y amarre, se incluirán los coeficientes globales y los coeficientes parciales que intervienen en las ecuaciones de verificación mediante formulaciones deterministas, utilizando valores nominales o deterministas de los factores de proyecto, así como las probabilidades de fallo asociadas a los mismos. Los correspondientes a modos de fallo geotécnicos, conjuntamente con los coeficientes globales y parciales a utilizar, se incluyen en la ROM 0.5. Recomendaciones geotécnicas para obras marítimas y portuarias. En el caso de modos de fallo estructurales, a estos efectos se estará a lo dispuesto en las Normas o Instrucciones específicas que fueran de aplicación en función del tipo de material de construcción. En el caso de que no se disponga de coeficientes globales y parciales específicos para alguna de las ecuaciones de verificación, podrán tomarse valores de los mismos que hayan sido contrastados o justificados, bien de experiencias previas o bien de otras Recomendaciones, Normas e Instrucciones.

Se recomienda que la utilización de formulaciones deterministas de las ecuaciones de verificación se restrinja a la verificación de los modos de fallo en los que la variabilidad y aleatoriedad de los factores de proyecto no sean significativas para la seguridad o la funcionalidad. Salvo justificación expresa, no será admisible utilizar formulaciones deterministas de las ecuaciones de verificación de los modos de fallo con agente predominante del medio físico climático atmosférico, climático marino o sísmico.

Para la verificación de modos de parada no pueden utilizarse formulaciones deterministas, ya que la verificación de este tipo de modos está asociada directamente con la variabilidad de los factores climáticos y operativos en el emplazamiento.

(32) En general se adoptan como valores nominales valores medios.

(33) En general se adoptan como valores deterministas estimaciones prudentes de los valores medios o de los valores más desfavorables posibles en el emplazamiento.

3.3.5.1.2. FORMULACIÓN DETERMINISTA-PROBABILISTA

El estado límite correspondiente a cada modo de fallo o parada y ciclo de sollicitación (condición de trabajo) quedará definido por valores representativos de los factores de actuación simultánea que intervienen en la ecuación de verificación, asociados a probabilidades conjuntas de presentación en el ciclo de sollicitación considerado. Al valor representativo del factor predominante para el modo de fallo o parada y ciclo de sollicitación considerado se le denomina generalmente valor característico. Los valores representativos del resto de factores de actuación simultánea serán valores de compatibilidad con el valor característico, considerando la probabilidad de presentación conjunta en el ciclo de sollicitación (valores de combinación, valores frecuentes o valores cuasipermanentes de los factores independientes entre sí y valores de compatibilidad para los factores dependientes de los anteriores). Los valores representativos de los factores de proyecto se obtienen a partir de los respectivos modelos de probabilidad, marginales o conjuntos, en el ciclo de sollicitación considerado, asociados a determinadas probabilidades de no excedencia para cada uno de ellos, establecidas tomando en consideración el objetivo de probabilidad conjunta en dicho ciclo de sollicitación.

Los términos de la ecuación de verificación se calculan con dichos valores representativos de los factores de proyecto, afectados asimismo por coeficientes de seguridad globales y parciales definidos en función de los objetivos de seguridad o funcionalidad requeridos.

Las formulaciones deterministas-probabilistas no permiten obtener directamente las probabilidades de presentación de los modos de fallo. La aplicación de esta formulación exige previamente la definición de los valores representativos de los factores a adoptar, conjuntamente con los coeficientes parciales y globales, que llevan a la probabilidad de fallo objetivo. Esto debe hacerse a través de la aplicación de métodos probabilistas. En general, la mayor parte de las ecuaciones de verificación de los modos de fallo adscritos a estados límites últimos expresadas en términos deterministas-probabilistas están tradicionalmente asociadas con la condición incondicional de no fallo ($p_f < 10^{-4}$) o, a lo sumo, con probabilidades de presentación bajas ($< 0,05$). Para probabilidades de fallo mayores y a falta de disponer de un calibrado previo de los valores representativos y de los coeficientes de seguridad asociados a la probabilidad de fallo objetivo, es admisible asimilar dicha probabilidad de fallo con la probabilidad de presentación del factor predominante para el modo de fallo analizado en el ciclo de sollicitación considerado. En este caso, el valor representativo del factor predominante será el correspondiente a dicha probabilidad de presentación obtenido en su modelo de probabilidad y los valores representativos del resto de factores serán los valores de compatibilidad con el mismo, también obtenidos de sus respectivos modelos de probabilidad en el ciclo de sollicitación considerado. En este caso se adoptan coeficientes parciales de los factores de valor unidad y un coeficiente global mayor que la unidad, establecido en función de la incertidumbre asociada con la ecuación de verificación del modo de fallo utilizada, de la variabilidad del factor predominante en el ciclo de sollicitación y de la probabilidad de fallo considerada.

En el Capítulo 4 de esta Recomendación se incluyen los criterios para la definición de los valores representativos de los factores que intervienen en las ecuaciones de verificación correspondientes a cada ciclo de sollicitación (condición de trabajo) y particularmente de los agentes y de las acciones asociados a dichos agentes. Asimismo, en las sucesivas Recomendaciones de la serie 2, correspondientes a cada tipología estructural de las obras de atraque y amarre, se incluirán los coeficientes globales y parciales a aplicar que intervienen en las ecuaciones de verificación de cada modo de fallo formuladas con dichos valores representativos, así como las probabilidades de fallo asociadas con cada conjunto de valores representativos y coeficientes. Los coeficientes correspondientes a modos de fallo geotécnicos se incluyen en la ROM 0.5. En el caso de modos de fallo estructurales se incluyen en las Normas e Instrucciones específicas de los materiales que sean de aplicación.

Mediante la formulación determinista-probabilista, la probabilidad de parada correspondiente a cada modo de parada se obtendrá como la suma de las probabilidades absolutas anuales (o en otro intervalo de tiempo como periodos estacionales en función de las características de la instalación de atraque) de excedencia de los umbrales de operatividad asociados con el modo considerado, correspondientes a cada una de las variables independientes entre sí, obtenidas a partir de los correspondientes regímenes medios marginales escalares o, en su caso, direccionales, conjuntamente en este último caso, con las frecuencias de presentación direccionales, así como de las probabilidades de excedencia de los valores umbrales de operatividad adoptados para las varia-

bles dependientes de las anteriores condicionadas a la no superación del valor umbral de la variable de la que dependen en la dirección, en su caso, considerada (Ver apartados 4.1.1.3 y 4.6.4.7.1.3.a₄).

3.3.5.1.3. FORMULACIÓN PROBABILISTA

Cuando se emplea la formulación probabilista para las ecuaciones de verificación no se definen estados límites, ya que la verificación de cada modo de fallo mediante la correspondiente ecuación de verificación no se realiza en estados límites sino en todos y cada uno de los estados presentes en cada ciclo de sollicitación (condición de trabajo). En este caso, los estados límites son el resultado del proceso de resolución de la ecuación de verificación.

Los términos de la ecuación de verificación se definen a través de las funciones de distribución, conjuntas, marginales o condicionadas, en el ciclo de sollicitación considerado de los factores de proyecto que intervienen en cada modo de fallo, calculándose directamente la probabilidad de fallo mediante la integración conjunta de dichas funciones de distribución en el dominio de fallo definido por la ecuación de verificación [$g \leq 0$ o $g' \leq 1$].

Con esta formulación, no se aplican coeficientes de seguridad globales y coeficientes parciales en la ecuación de verificación.

Para la verificación mediante formulación probabilista de un modo de parada operativa se utilizarán las funciones de densidad conjunta anuales (o en otro intervalo de tiempo como periodos estacionales en función de las características de la instalación de atraque) en el emplazamiento correspondientes a las variables en las cuales se han definido umbrales límite de operatividad para dicho modo de parada. En este caso la probabilidad de parada se obtendrá integrando la función densidad conjunta en el dominio de fallo definido por los valores umbrales de las variables establecidos para el modo de parada considerado.

3.3.5.2. Métodos de resolución de la ecuación de verificación y de cálculo de la probabilidad de fallo o parada

Los métodos de resolución de la ecuación de verificación de los modos de fallo son los siguientes:

3.3.5.2.1. MÉTODOS DE NIVEL I

Los métodos de Nivel I se pueden aplicar a ecuaciones de verificación de los modos de fallo formuladas tanto con criterio determinista como con determinista-probabilista. Como ya se ha señalado, la fiabilidad y funcionalidad objetivo de proyecto se introduce en la ecuación de verificación afectando a los valores nominales, deterministas o representativos de los factores de proyecto que intervienen en la misma, y que definen el estado límite, con coeficientes globales y parciales adecuados en función de la probabilidad de fallo requerida. Dichos valores representativos y coeficientes han sido obtenidos a priori a través de su calibración mediante la observación del comportamiento de obras realizadas o mediante la aplicación de métodos probabilísticos de Niveles II o III a proyectos similares y extrapolables en función de las condiciones locales en el emplazamiento.

La resolución analítica de la ecuación de verificación informa únicamente de si con los valores y coeficientes adscritos se produce, o no, el modo de fallo o la parada operativa, dándose por concluido el proceso de verificación cuando el resultado de la misma indica que no ocurre el modo de fallo o parada.

Para los modos de parada operativa, la resolución de la ecuación de verificación equivale a la obtención de la suma de probabilidades absolutas de excedencia en el emplazamiento de los umbrales de operatividad asociados al modo de parada considerado. El umbral de operatividad de cada variable correspondiente a un modo de parada estará asociado con el estado límite en el que dicha variable es predominante, adoptado para la verificación de los modos de fallo en el ciclo de sollicitación operativo (condición de trabajo operativa) asociado a dicho modo de parada.

3.3.5.2. MÉTODOS DE NIVELES II Y III

Los métodos de Niveles II y III se aplican a partir de formulaciones probabilistas de la ecuación de verificación. La ecuación de verificación de un modo de fallo o parada debe expresarse en formato de probabilidad de fallo o parada y la solución de la misma es la probabilidad de ocurrencia del modo en la fase considerada.

La probabilidad de fallo se calcula directamente mediante la integración de la función de densidad conjunta de los factores de proyecto en el ciclo de sollicitación considerado que intervienen en cada modo de fallo en el dominio de fallo definido por la ecuación de verificación. Es decir:

$$p_f = Prob[g \leq 0] = \int_{g \leq 0} f_X(x) \cdot dx$$

donde f_X es la función de densidad conjunta de las variables X que intervienen en la ecuación de verificación en el ciclo de sollicitación considerado (condición de trabajo).

La probabilidad de parada también se calcula directamente mediante la integración de la función de densidad conjunta anual de las variables que pueden limitar la operatividad de la instalación para el modo de parada considerado en el dominio de fallo definido por los umbrales de operatividad de dichas variables. Es decir:

$$p_f = Prob[g \leq 0] = \int_{g \leq 0} f_X(x) \cdot dx$$

siendo f'_X la función de densidad conjunta en el periodo de tiempo considerado (generalmente el año, aunque también pueden ser periodos estacionales en función de las características de la instalación de atraque) de las variables X que pueden limitar la operatividad de la instalación para el modo de parada considerado y $X_{i,0}$ los valores umbrales de operatividad de dichas variables correspondientes al modo de parada.

Dichas integrales pueden realizarse bien por integración directa (raramente posible), bien por simulación numérica (Nivel III), bien por transformación del integrando para trabajar con variables gaussianas independientes (Nivel II).

Un método simple de Nivel III es el método de simulación de Monte Carlo, que permite aplicar la ecuación de verificación a una gran muestra de conjuntos de valores aleatorios equiprobables de los factores de proyecto que intervienen en la misma, obtenidos a partir de las funciones de distribución, conjuntas, marginales y condicionadas de los mismos. Como resultado de todas las simulaciones se obtendrán algunas situaciones de fallo que supondrán una cierta fracción del total de simulaciones realizadas. Esta fracción es la probabilidad de fallo o parada.

En este caso el proceso de verificación queda concluido si la probabilidad de fallo o parada resultante es menor que la establecida como objetivo de proyecto para el correspondiente modo de fallo o parada.

3.3.5.3. Criterios para la aplicación de los métodos de resolución de la ecuación de verificación

El método de resolución de la ecuación de verificación recomendado para los modos de fallo y parada descritos en esta Recomendación depende del carácter general de la obra y es función del Índice de Repercusión Económica (IRE) y del Índice de Impacto Social y Ambiental (ISA) de dicha obra, de acuerdo con lo indicado al respecto en la ROM 0.0 (Ver tabla 3.3.5.1). No obstante, para la verificación de los modos de fallo o parada que no estén considerados como principales será suficiente la aplicación únicamente de métodos de Nivel I, aunque únicamente los Niveles II y III permiten definir con exactitud las condiciones de seguridad, funcionalidad y operatividad en las que se encuentra la obra de atraque y amarre al identificar exactamente cuáles son los estados límites de la instalación de atraque. Por dichas razones es siempre conveniente la aplicación también de métodos de Niveles II o III, independientemente del carácter de la obra.

De acuerdo con estos criterios y con los índices IRE e ISA recomendados en esta ROM según los tipos de obras de atraque y amarre (ver tablas 3.4.2.1 y 3.4.2.2), para la verificación de modos de fallo y parada principales, en general será suficiente la aplicación únicamente de métodos de Nivel I, salvo para obras de atraque y amarre de uso comercial en las que se manipulen mercancías peligrosas, para obras de uso militar y para aquéllas que tengan un índice de repercusión económica alto, independientemente del uso, así como para las que sobre ellas o en sus inmediatas proximidades se ubiquen edificaciones (estación marítima, lonja, ...), depósitos o silos que puedan resultar afectados en caso de fallo de la obra de atraque.

Tabla 3.3.5.1. Métodos de resolución de la ecuación de verificación en función de los Índices de Repercusión Económica (IRE) y de Impacto Social y Ambiental (ISA)

IRE	ISA			
	s ₁	s ₂	s ₃	s ₄
r ₁	(1)	(2)	(2) y [(3) ó (4)]	(2) y [(3) ó (4)]
r ₂	(2)	(2)	(2) y [(3) ó (4)]	(2) y [(3) ó (4)]
r ₃	(2) y [(3) ó (4)]			

(1) Métodos de Nivel I: Coeficientes de seguridad global.
 (2) Métodos de Nivel I: Coeficientes de seguridad parciales.
 (3) Métodos de Nivel II: Momentos estadísticos y técnicas de optimización.
 (4) Métodos de Nivel III: Integración y simulación numérica.

No obstante lo anterior, tal como se señala en el apartado 3.4.4.1, en general los estudios de optimización económica de las obras de atraque conducen a la conveniencia de proyectar obras mucho más seguras y funcionales que los umbrales mínimos recomendados en la tabla 3.4.2.2, al conseguirse aumentos de fiabilidad y funcionalidad de las obras con costes económicos muy moderados, salvo cuando la acción predominante sea el oleaje, el viento o el sismo. Por tanto, en estos casos, cuando a los modos de fallo principales se les asignen probabilidades de fallo pequeñas ($< 0,05$) será recomendable su verificación también por métodos de Niveles II ó III, independientemente de sus índices IRE e ISA.

En aquellos proyectos en los que debe realizarse una verificación múltiple de los modos de fallo o parada principales con métodos de Nivel I y otros de jerarquía superior, el cálculo se dará por satisfecho cuando los dos procedimientos de resolución de la ecuación de verificación utilizados indiquen que la fiabilidad, funcionalidad u operatividad exigidas se cumplen. Por este motivo, siendo un método de Nivel I, normalmente, de aplicación más sencilla, se recomienda que el cálculo por este Nivel, que siempre debe hacerse, actúe como referencia, permitiendo los métodos de jerarquía superior valorar la incertidumbre asociada a los métodos de Nivel I en cada caso concreto y, consecuentemente, determinar de una forma mucho más precisa la probabilidad de fallo o parada asociada a los mismos; lo que responde en el fondo a un procedimiento alternativo más avanzado a la realización de un análisis clásico paramétrico de sensibilidad.

Cualquiera de estos métodos de resolución se puede aplicar a cualquier ecuación de verificación de un modo de fallo o parada. Como ya se ha señalado, las únicas diferencias estriban en la forma de establecer los factores de proyecto que entran en la ecuación de verificación y en el criterio de aceptación del resultado que se obtiene.

3.4 CRITERIOS GENERALES DE PROYECTO

Los criterios generales de proyecto que deben definirse son los siguientes:

3.4.1. Tramos

A los efectos de proyecto, una obra de atraque y amarre se dividirá en tramos homogéneos cuando se produzcan diferencias significativas en alguno de los factores de proyecto (geometría de la obra y del terreno, carac-

terísticas del terreno, del medio físico y de los materiales, y valores de los agentes y acciones, a lo largo del emplazamiento), así como en las repercusiones en caso de fallo o parada operativa, independientemente de que de lugar o no a la adopción de diferentes tipologías estructurales.

A su vez, en aquellos casos en que se prevea la ejecución por etapas, se considerará cada etapa como un tramo diferente si el desfase entre la entrada en servicio de cada etapa y la siguiente es mayor de 5 años.

3.4.2. Carácter general y operativo de cada tramo

Para cada tramo en el que se haya dividido la obra de atraque deberá definirse el carácter general y operativo del mismo.

3.4.2.1. Carácter general del tramo

El carácter general es un indicador de la importancia de dicho tramo, medida a través de las repercusiones económicas, sociales y ambientales generadas en caso de su destrucción o pérdida irreversible de funcionalidad. Es, por tanto, indicativo de la magnitud de las consecuencias derivadas del fallo de la obra de atraque una vez ha entrado en servicio.

El carácter general será especificado por parte del Promotor de la obra de atraque, no pudiendo ser menos exigente que el obtenido a partir de los índices de repercusión económica (IRE) y de repercusión social y ambiental (ISA) definidos en la ROM 0.0. En dicha Recomendación se incluye también los procedimientos adecuados para su determinación para el modo de fallo principal, adscrito, en general, a estados límites últimos.

Mediante la aplicación de estos procedimientos, los índices de repercusión económica (IRE) y de repercusión social y ambiental (ISA) recomendables con carácter general para las obras de atraque y amarre se recogen en las tablas 3.4.2.1 y 3.4.2.2 respectivamente.

Básicamente, sin perjuicio de la inversión inicial, el criterio utilizado para definir el índice IRE en obras de atraque y amarre ha sido el uso de la obra de atraque, considerándose que los usos comerciales e industrial respecto a los usos pesquero y náutico-deportivo tienen mayor importancia estratégica para el sistema económico y productivo y, a su vez, el ámbito económico del sistema productivo al que sirven es mayor. En cuanto al uso militar de la obra de atraque se valora su importancia estratégica para el país.

El criterio principal utilizado para la determinación del índice ISA en obras de atraque y amarre es el tipo de peligrosidad de las mercancías manipuladas en la instalación de atraque, sin perjuicio de la incidencia que puede tener en el mismo la ubicación de un edificio (lonja, estación marítima, ...), un depósito, un silo u otra instalación sobre o en las proximidades de la obra de atraque y amarre.

3.4.2.2. Carácter operativo del tramo

El carácter operativo es un indicador de las repercusiones económicas, sociales y ambientales que se producen cuando el tramo de la obra de atraque en servicio deja de estar operativo o reduce su nivel de operatividad. Es, por tanto, un indicativo de la magnitud de las consecuencias ocasionadas por la parada operativa de la obra de atraque.

El carácter operativo será especificado por parte del Promotor de la obra de atraque, no pudiendo ser menos exigente que el obtenido a partir de los índices de repercusión económica operativo (IREO) y de repercusión social y ambiental operativo (ISAO) definidos en la ROM 0.0. En dicha Recomendación se incluye también los procedimientos adecuados para su determinación para el modo principal de parada operativa.

Mediante la aplicación de estos procedimientos, los índices de repercusión económica operativo (IREO) y de repercusión social y ambiental operativo (ISAEO) recomendables con carácter general para las obras de atraque y amarre se recogen en las tablas 3.4.2.3 y 3.4.2.4, respectivamente. Sin perjuicio de la incidencia de la intensidad de la demanda, el criterio general utilizado básicamente para la obtención del índice IREO es el de considerar la siguiente adaptabilidad de la demanda a la situación de parada operativa:

- ◆ *Uso comercial*
 - Para graneles sólidos y líquidos: adaptabilidad alta, debido a las exigencias de almacenamiento que tiene este tipo de tráfico.
 - Para mercancía general con tráficos regulares y pasajeros: adaptabilidad baja.
 - Para mercancía general con tráficos discrecionales (tramp): adaptabilidad media.
- ◆ *Uso pesquero y deportivo*
 - Adaptabilidad baja, por la exigencia de garantizar la permanencia de los buques y embarcaciones en el atraque en cualquier situación climática.
- ◆ *Uso industrial*
 - Adaptabilidad alta.
- ◆ *Uso militar*
 - Adaptabilidad baja.

Como puede observarse, en la mayoría de las obras de atraque y amarre, el índice ISAEO será no significativo ya que los modos de parada operativa son muy improbables que produzcan impactos sociales o ambientales relevantes. Algunos modos de parada operativa como la suspensión de la permanencia del buque en el atraque por limitación de calados o como la paralización de las operaciones de carga y descarga por un inadecuado nivel de coronación pueden dar lugar a algún impacto ambiental, aunque generalmente puede considerarse que no alcanza niveles significativos. No obstante, en los usos pesquero y náutico-deportivo sí que pueden producirse impactos sociales algo más altos ya que en estos casos la imposibilidad de acceder al atraque puede causar la pérdida de vidas humanas de carácter accidental por la incapacidad de estas embarcaciones de capear el temporal.

Tabla 3.4.2.1. Índices de Repercusión Económica (IRE) y vidas útiles mínimas (V_{\min}) recomendados para las obras de atraque y amarre en función de su uso

USO	TIPO DE MERCANCÍA	ÍNDICE IRE ⁴		VIDA ÚTIL MÍNIMA (V_{\min}) ⁴ (AÑOS)
COMERCIAL	Graneles líquidos	r_3 (r_2) ¹	Alto (Medio) ¹	50 (25) ¹
	Graneles sólidos	r_3 (r_2) ¹	Alto (Medio) ¹	50 (25) ¹
	Mercancía general	r_2	Medio	25
	Pasajeros	Ferris	r_3 (r_2) ²	Alto (Medio) ²
Cruceros		r_2	Medio	25
PESQUERO		r_1	Bajo	15
NAÚTICO-DEPORTIVO		r_1	Bajo	15
INDUSTRIAL		r_2 (r_3) ³	Medio (Alto) ³	25 (50) ³
MILITAR		r_3	Alto	50

(1) El índice IRE podrá reducirse a r_2 cuando el granel sólido ó líquido no esté relacionado con el suministro energético o con materias primas minerales estratégicas y no se pueda disponer de sistemas alternativos para su manipulación y almacenamiento.
(2) El índice IRE podrá reducirse a r_2 cuando se pueda disponer de instalaciones alternativas.
(3) El índice IRE se elevará a r_3 cuando la industria a la que sirve la obra de atraque esté asociada con la producción energética o con la transformación de materias primas minerales estratégicas.
(4) Los índices r_1 y r_2 de la tabla se elevarán un grado por cada 25 M€ de inversión inicial de la obra de atraque.

Tabla 3.4.2.2. Índices de Repercusión Social y Ambiental (ISA) y máximas probabilidades conjuntas de fallo durante la vida útil correspondientes a modo de fallo adscritos a Estados Límites Últimos ($p_{f,ELU}$) y a Estados Límite de Servicio ($p_{f,ELS}$), recomendados para las obras de atraque y amarre en función de su uso

USO	TIPO DE MERCANCÍA		ÍNDICE ISA ²		$P_{f,ELU}$ ^{2,3}	$P_{f,ELS}$ ^{2,3}
COMERCIAL	Graneles líquidos	Mercancías peligrosas ¹	s_3	Alto	0,01	0,15
		Mercancías no peligrosas	s_2	Bajo	0,10	0,30
	Graneles sólidos	Mercancías peligrosas ¹	s_3	Alto	0,01	0,15
		Mercancías no peligrosas	s_2	Bajo	0,10	0,30
	Mercancía general		s_2	Bajo	0,10	0,30
	Pasajeros		s_2	Bajo	0,10	0,30
PESQUERO			s_2	Bajo	0,10	0,30
NAÚTICO-DEPORTIVO			s_2	Bajo	0,10	0,30
INDUSTRIAL	Mercancías peligrosas ¹		s_3	Alto	0,01	0,15
	Mercancías no peligrosas		s_2	Bajo	0,10	0,30
MILITAR			s_3	Alto	0,01	0,15

(1) Se considerarán mercancías peligrosas los grupos de sustancias prioritarias incluidas en el anexo X de la Directiva Marco del Agua (Decisión 2455/2001/CEE), en el inventario europeo de emisiones contaminantes (EPER: Decisión 2000/479/CE), y en el Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de Mercancías Peligrosas (Real Decreto 145/1989).

(2) En el caso de que en la obra de atraque o en las proximidades de la misma esté previsto que se ubiquen edificaciones (p.e. estaciones marítimas, lonjas...) depósitos o silos que pudieran resultar afectados en el caso de fallo de la obra de atraque, se considerará un índice ISA (s_4) muy alto ($p_{f,ELU} = 0,0001$, $p_{f,ELS} = 0,07$).

(3) En general, los estudios de optimización económica de las obras de atraque conducen a la conveniencia de proyectar obras mucho más seguras que los umbrales mínimos recomendados en esta tabla, salvo cuando la acción predominante sea el oleaje, el viento o el sismo.

Tabla 3.4.2.3. Índices de Repercusión Económica Operativos (IREO) y operatividades mínimas durante la vida útil, ($r_{f,ELO}$) recomendados para la obra de atraque y amarre en función de su uso

USO	TIPO DE MERCANCÍA		ÍNDICE IREO		$r_{f,ELO} = 1 - P_{f,ELO}$
COMERCIAL	Graneles líquidos		r_{o1}	Bajo	0,85
	Graneles sólidos		r_{o1}	Bajo	0,85
	Mercancía general	Tráficos regulares	r_{o3} ^{1,2}	Alto	0,99
		Tráficos tramp	r_{o2} ^{1,2}	Medio	0,95
	Pasajeros		r_{o3} ^{1,2}	Alto	0,99
PESQUERO			r_{o3}	Alto	0,99
NAÚTICO-DEPORTIVO			r_{o3}	Alto	0,99
INDUSTRIAL			r_{o1}	Bajo	0,85
MILITAR			r_{o3}	Alto	0,99

(1) En el caso de que los tráfico sean sólo en periodo estival, los índices obtenidos se reducirán un grado.

(2) En el caso de que la intensidad de la demanda sea poco intensiva (grado de ocupación del atraque $\phi < 40\%$. Ver apartado 3.2.1.4) los índices obtenidos se reducirán un grado.

Tabla 3.4.2.4. Índices de Repercusión Social y Ambiental Operativos (ISAO) y máximo número medio anual de paradas operativas (N_m), recomendados para las obras de atraque y amarre en función de su uso

USO	TIPO DE MERCANCÍA	ÍNDICE ISAO		N_m
		s_{o1}	No significativo	
COMERCIAL	Graneles líquidos	s_{o1}	No significativo	10
	Graneles sólidos	s_{o1}	No significativo	10
	Mercancía general	s_{o1}	No significativo	10
	Pasajeros	s_{o1}	No significativo	10
PESQUERO		s_{o2}	Bajo	5
NAÚTICO-DEPORTIVO		s_{o2}	Bajo	5
INDUSTRIAL		s_{o1}	No significativo	10
MILITAR		s_{o1}	No significativo	10

3.4.3. Fases de Proyecto y su duración. Vida útil

Desde que se inicia la ejecución de la obra de atraque y amarre hasta su cambio de uso o desmantelamiento, ésta y cada uno de sus tramos pasan por una secuencia continua de condiciones que se denominan *estados o situaciones* que caracterizan la actividad o condiciones en las que se encontrará la obra. En cada *estado* los factores de proyecto y la respuesta estructural y funcional de la obra pueden suponerse estacionarios estadísticamente.

Los estados o situaciones se agrupan en fases de proyecto, durante las cuales la obra o sus tramos mantienen una misma actividad principal. Para el proyecto de obras de atraque y amarre se considerarán como mínimo las siguientes fases de proyecto:

- ◆ Fase de construcción.
- ◆ Fase de servicio.
- ◆ Fase de reparación.
- ◆ Fase de desmantelamiento.

Estas fases de proyecto se deberán dividir en subfases únicamente cuando éstas afecten al dimensionamiento de la obra o de alguno de los elementos que la forman.

La duración de cualquiera de las fases y subfases de proyecto puede venir impuesta por razones constructivas, de comportamiento de los materiales, de mantenimiento, funcionales, de servicio, o económicas y administrativas. En el caso de la fase de servicio, la duración de dicha fase se denomina vida útil (V) y, en general, corresponde al periodo de tiempo en el que la obra cumple la función principal para la cual ha sido concebida, incluyéndose en la misma las operaciones de normal mantenimiento.

En función de la vida útil las obras de atraque y amarre se dividen en:

- ◆ Obras provisionales: $V \leq 5$ años
- ◆ Obras definitivas: $V > 5$ años

La duración de cada una de las fases de proyecto será fijada por el Promotor tomando en consideración las razones señaladas. Para obras definitivas, se recomienda que la vida útil sea superior a los valores mínimos incluidos en la ROM 0.0 en función del índice de repercusión económica (IRE) de la obra o del tramo de la misma considerado.

En la tabla 3.4.2.1 se incluyen los valores normalmente aplicables a las obras de atraque y amarre obtenidos en función de estos criterios. Como puede observarse en dicha tabla, con carácter general la vida útil mínima

para las obras de atraque y amarre de uso comercial será de 50 años, salvo para mercancía general (carga convencional, contenedores, ro-ro, ...) y cruceros que puede bajar a 25 años si la inversión inicial no es muy importante. Para las obras de atraque y amarre de uso pesquero o náutico-deportivo la vida útil no será inferior a 15 años.

Se considerará que la ejecución de una obra de atraque se hace por etapas (fases) cuando el desfase entre la entrada en servicio de la primera etapa y de la última es mayor que 5 años. En estos casos se fijará la vida útil para cada una de las etapas o fases de la obra.

A su vez, en los casos en los que la ejecución de una etapa o fase posterior pudiera afectar significativamente al valor de alguno de los factores de proyecto de la etapa anterior, se deberá considerar dos subfases, la primera de las cuales tiene su vida útil limitada por el inicio de la fase posterior. Deberán preverse en el proyecto las adecuaciones que es necesario llevar a cabo en el caso de que finalmente no se ejecutara la siguiente etapa o fase prevista.

3.4.4. Criterios de seguridad, servicio y explotación

En cada fase y subfase de proyecto, la obra en su conjunto o, en su caso, cada uno de los tramos en los que se divida, así como los elementos que la constituyen deberán cumplir los requisitos exigidos por la normativa y por el Promotor en materia de seguridad, servicio y explotación en todos estados que, en los diferentes los ciclos de solicitud (condiciones de trabajo), puedan presentarse en la fase considerada, con el objeto de acotar las probabilidades de que se produzca un fallo o una parada operativa de la obra de atraque en límites aceptables, definidos en función de las consecuencias del fallo o de la parada operativa.

Los requisitos de seguridad, servicio y explotación exigidos para una determinada obra o tramo de obra se definirán por medio de los siguientes parámetros (Ver ROM 0.0):

- a. **Fiabilidad:** Valor complementario de la probabilidad conjunta de fallo en la fase o subfase de proyecto considerada frente a los modos de fallo adscritos a los estados límite últimos.
- b. **Aptitud al servicio o funcionalidad:** Valor complementario de la probabilidad conjunta de fallo en la fase o subfase de proyecto considerada frente a los modos de fallo adscritos a los estados límites de servicio.
- c. **Operatividad:** Valor complementario de la probabilidad de parada en la fase o subfase de proyecto considerada frente a los modos de parada adscritos a los estados límite de parada operativa.

También se usa como medida para cada uno de estos conceptos el índice de fiabilidad (β) que tiene con la correspondiente probabilidad de fallo (p_f) o de parada operativa (p_{parada}) la siguiente relación biunívoca: $\beta = -\phi^{-1}(p)$, siendo ϕ la función de probabilidad acumulada estándar normalizada.

3.4.4.1. Fiabilidad frente a modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos

La seguridad mínima exigida a una obra de atraque (o a cada tramo de la misma) frente al conjunto de modos de fallo adscritos a estados límite últimos que puedan presentarse en cada fase de proyecto es función de las consecuencias derivadas del fallo o destrucción de la misma.

Para la fase de servicio, estas consecuencias pueden valorarse globalmente por medio del carácter general de la obra, cuyo valor no puede ser menos exigente que el obtenido a través de los índices de repercusión económica (IRE) y de repercusión social y ambiental (ISA) que le correspondan. (Ver apartado 3.4.2.1). En este sentido, la seguridad debe ser mayor cuando las consecuencias sociales o ambientales del fallo son graves.

Se recomienda que la máxima probabilidad de fallo admisible para una obra de atraque frente al conjunto de todos los posibles modos de fallo adscritos a estados límites últimos sea inferior a los valores máximos incluidos en la ROM 0.0, en función del índice de repercusión social y ambiental (ISA). En la tabla 3.4.2.2 de esta Recomendación se incluyen los valores aplicables a las obras de atraque y amarre, obtenidos en función de estos criterios.

De acuerdo con la tabla citada, para las obras de atraque y amarre puede considerarse habitualmente probabilidades conjuntas de fallo durante la vida útil asociadas a índices de repercusión social y ambiental bajos ($\max p_f = 0,10$), salvo cuando en las mismas se manipulen mercancías peligrosas en que es recomendable considerar probabilidades de fallo asociadas a índices de repercusión social y ambiental altos ($\max p_f = 0,01$).

Salvo para estos últimos casos, la decisión de la fiabilidad que debe asignarse a una obra de atraque a los efectos de proyecto deberá ser objeto de cálculos de optimización económica. Uno de estos métodos de optimización económica es hacer coincidir la fiabilidad óptima a adoptar con el valor mínimo de la función de costes generalizada (costes totales esperados) de la obra en la fase analizada (Ver figura 3.4.4.1), obtenida considerando el óptimo reparto de la probabilidad de fallo conjunta entre los modos de fallo principales; aunque en ningún caso debe ser menor que la mínima asignada a dicha obra en la figura 3.4.2.2 de esta Recomendación. En general, en las obras de atraque y amarre con índice ISA bajo será admisible considerar simplificada en la función de costes generalizada únicamente los términos correspondientes a los costes iniciales de construcción más los costes de conservación, reparación menor, gran reparación y reconstrucción; es decir, sin imputar los costes asociados a las consecuencias económicas, de pérdidas humanas y ambientales del fallo total de la obra, ya que para obras con este índice ISA puede considerarse que su influencia en la función de costes generalizados es muy reducida.

En general, los estudios de optimización económica de las obras de atraque conducen a la conveniencia de proyectar obras mucho más seguras que los umbrales mínimos recomendados, al conseguirse aumentos de fiabilidad de las obras con costes económicos muy moderados, salvo en los casos en los que la acción predominante en el desencadenamiento de algún modo de fallo sea:

- ◆ el oleaje (obras de atraque y amarre situadas en zonas no abrigadas o con importante agitación)
- ◆ el viento (obras de atraque y amarre muy flexibles)
- ◆ el sismo (obras de atraque y amarre localizadas en áreas de sismicidad elevada o media).

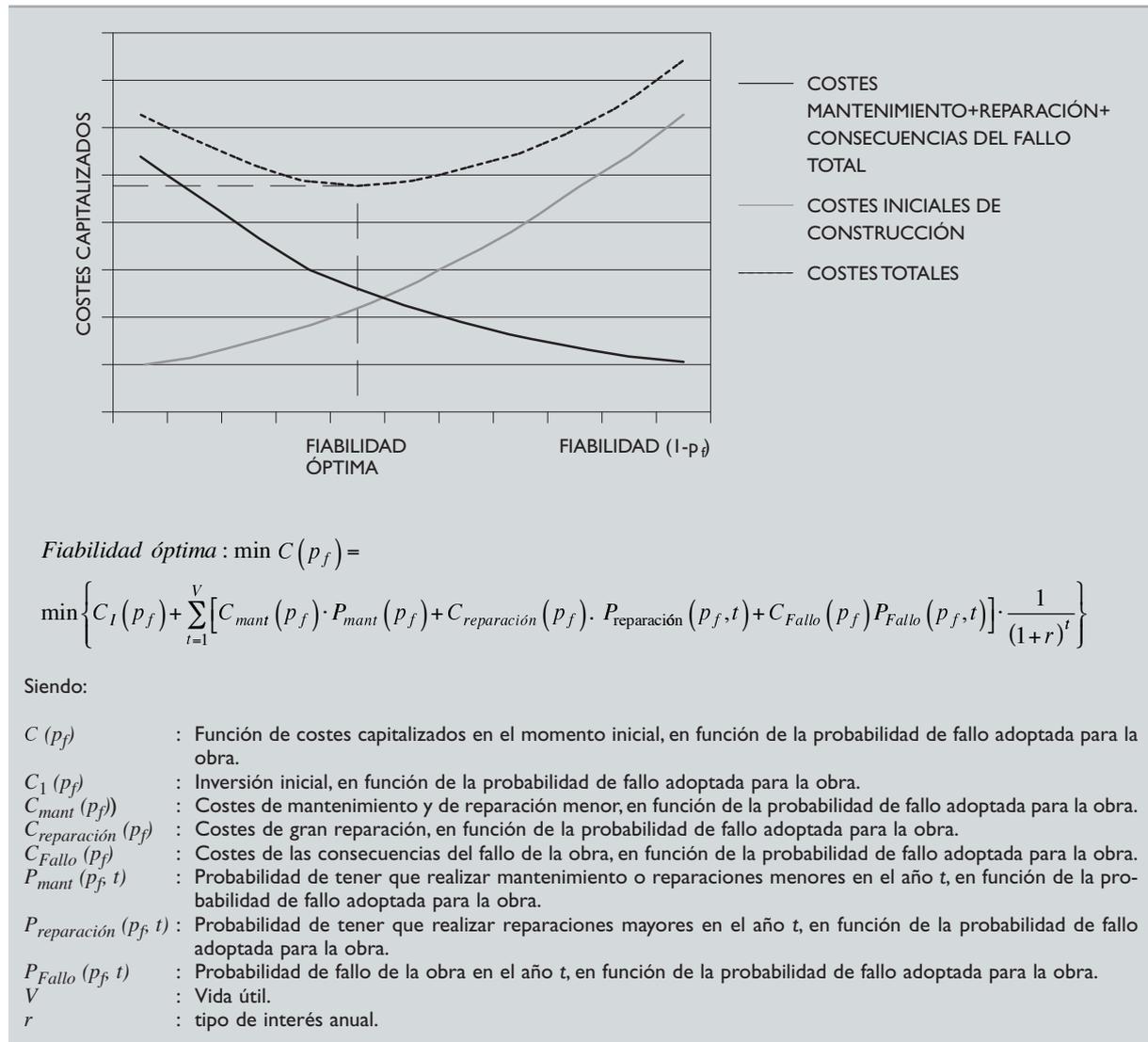
Una vez fijada la probabilidad conjunta de fallo óptima, la asignación de la probabilidad de ocurrencia correspondiente a cada modo de fallo se realizará de arriba abajo en el diagrama de fallos, tomando en consideración, las exigencias de seguridad establecidas por la normativa de rango superior para algunos modos de fallo (p. e. EHE, Eurocódigos, ...), así como la influencia en los costes de la probabilidad de fallo asignada a cada modo. En este sentido, como principio general se asignarán las mayores probabilidades a aquellos modos de fallo principales cuyos aumentos de fiabilidad contribuyen más significativamente en los costes de la obra, asignando a los modos de fallo no principales probabilidades de fallo muy pequeñas (probabilidades incondicionales de no fallo, $p_f < 10^{-4}$). El reparto de la probabilidad conjunta no está asociado a una solución única. La experiencia previa y el grado de incertidumbre de los modelos de cálculo utilizados para la verificación de cada modo de fallo deben tomarse en consideración a estos efectos. No obstante, el reparto de la probabilidad conjunta entre los modos de fallo principales se realizará fundamentalmente atendiendo a criterios de optimización económica del proyecto de inversión y sus consecuencias socio-ambientales en la vida útil, con el objeto de evitar sobredimensionamientos⁽³⁴⁾. En general, a estos efectos para las obras de atraque y amarre con índice ISA bajo será suficiente analizar el coste total anual de la obra para diferentes supuestos de reparto, uno de los cuales debe ser la asignación a un único modo fallo de toda la probabilidad de fallo conjunta.

En las sucesivas Recomendaciones de la serie 2, correspondientes a las diferentes tipologías estructurales de las obras de atraque y amarre, se incluirán los correspondientes diagramas de fallo para cada tipología de obra de atraque, así como las oportunas recomendaciones para la asignación de probabilidad de ocurrencia a cada uno de los modos de fallo.

En las obras de atraque que manipulen mercancías peligrosas deberán tomarse las precauciones necesarias para evitar cualquier posible daño. La probabilidad de fallo que se indica en la tabla 3.4.2.2 (10^{-2}) es únicamente una referencia máxima formal, siendo recomendable en estos casos adoptar las fiabilidades que vienen siendo usuales en la ingeniería civil para todos y cada uno de los modos de fallo, las cuales han servido de base para el desarrollo consistente de reglas de proyecto rigurosas.

(34) Los métodos recomendados de optimización económica del proyecto de inversión y sus consecuencias socio-ambientales se desarrollan más ampliamente en el apartado 2.5.4.2. de la ROM 1.0-09.

Figura 3.4.4.1. Fiabilidad óptima de una obra de atraque y amarre asociada al valor mínimo de la función de costes generalizada



Para las fases de construcción, reparación y desmantelamiento la probabilidad conjunta de fallo estará acotada en función del índice ISA que le corresponda durante dichas fases, efectuándose el reparto de la probabilidad conjunta en estas fases con iguales criterios que los establecidos para la fase de servicio. En general, para fases de construcción de obras de atraque y amarre podrá considerarse que las repercusiones sociales y ambientales en caso de fallo no son significativas, por lo que la fiabilidad adoptada debe responder únicamente a criterios de optimización económica. En cualquier caso, la probabilidad de fallo para estas fases no debe ser mayor que 0,20.

3.4.4.2. Funcionalidad frente a modos de fallo adscritos a Estados Límite de Servicio

La funcionalidad mínima exigida a una obra de atraque (o a cada tramo de la misma) frente al conjunto de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio que pueden presentarse en cada fase de proyecto es función de las consecuencias derivadas del fallo de servicio.

Para la fase de servicio, estas consecuencias pueden valorarse globalmente por medio del carácter general de la obra, establecido de igual forma que para la fiabilidad, dado que alguno de los modos de fallo adscritos a esta-

dos límite de servicio pueden dar lugar igualmente a la práctica ruina de la obra. Igual que lo señalado para la fiabilidad, la funcionalidad debe ser mayor cuando las consecuencias sociales y ambientales de los fallos funcionales son más importantes. Se recomienda que la máxima probabilidad de fallo admisible para una obra de atraque frente al conjunto de todos los posibles modos de fallo adscritos a estados límite de servicio sea inferior a los valores máximos incluidos en la tabla 3.4.2.2 en función del índice de repercusión social y ambiental (ISA) de la misma.

Al igual que se ha señalado para la fiabilidad, la decisión de la funcionalidad que debe asignarse a la obra de atraque deberá ser objeto de procesos de optimización económica, considerando la posibilidad y los costes de reparación en caso de fallo funcional, aunque no debe ser menor que la especificada en la tabla 3.4.2.2 (probabilidad de fallo $\leq 0,15$ para obras de atraque y amarre que manipulen mercancías peligrosas y $\leq 0,30$ para el resto). En general, los estudios de optimización económica de las obras de atraque y amarre conducen a la conveniencia de proyectar obras mucho más funcionales que los umbrales mínimos recomendados, salvo en estructuras muy fácilmente reparables.

Una vez fijada la probabilidad conjunta de fallo funcional, la asignación de probabilidades de ocurrencia a cada modo de fallo funcional se realizará en el correspondiente árbol de fallos con iguales criterios que los señalados para los modos de fallo adscritos a estados límite últimos. Como principio general, se asignarán las mayores probabilidades a aquellos modos de fallo funcionales principales cuyos aumentos de funcionalidad contribuyen más significativamente en los costes de la obra.

En las sucesivas Recomendaciones de la serie 2, correspondientes a las diferentes tipologías estructurales de las obras de atraque y amarre, se incluirán los correspondientes diagramas de fallo funcionales para cada tipología de obra de atraque, así como las oportunas recomendaciones para la asignación de probabilidad de ocurrencia a cada uno de los modos de fallo funcionales.

Para las fases de construcción, reparación y desmantelamiento la probabilidad conjunta de fallo funcional estará acotada en función del índice ISA que le corresponda durante dichas fases, efectuándose el reparto de probabilidad conjunta en estas fases con iguales criterios que los establecidos para la fase de servicio. En general, para fases de construcción de obras de atraque y amarre podrá considerarse que las repercusiones sociales y ambientales en caso de fallo funcional no son significativas, por lo que la funcionalidad adoptada debe responder únicamente a criterios de optimización económica. En cualquier caso, es recomendable que la probabilidad de fallo funcional para estas fases no sea mayor que 0,20.

3.4.4.3. Operatividad frente a modos de parada adscritos a Estados Límite Operativos

La operatividad mínima exigida a una obra de atraque (o a cada tramo de la misma) frente al conjunto de modos de parada adscritos a estados límite de parada operativa que pueden presentarse en cada fase de proyecto es función de las consecuencias derivadas de la parada operativa.

Para la fase de servicio, estas consecuencias pueden valorarse globalmente por medio del carácter operativo de la obra, cuyo valor no puede ser menos exigente que el obtenido a través de los índices de repercusión económica operativo (IREO) y de repercusión social y ambiental operativo (ISAO) que le correspondan (Ver apartado 3.3.2.2). En este sentido, la operatividad debe ser mayor cuando las consecuencias económicas de la parada operativa son importantes.

Se recomienda que la operatividad mínima admisible para una obra de atraque y amarre frente al conjunto de todos los posibles modos de parada operativa sea superior a los valores mínimos incluidos en la ROM 0.0 en función del índice de repercusión económica operativo (IREO). En la tabla 3.4.2.3 se incluyen los valores aplicables a las obras de atraque y amarre, obtenidos en función de estos criterios.

De acuerdo con la tabla citada, el factor más importante que condiciona la categorización de las obras de atraque y amarre a efectos operativos es la regularidad de los tráficos. Por dicha razón los usos comerciales asociados fundamentalmente con tráficos regulares (contenedores, pasajeros, etc..) con grados de ocupación del atraque elevados, así como los usos pesqueros, náutico-deportivos y militares son los que tienen un índice

de repercusión económica operativo más alto. Por el contrario, los usos asociados, en general, a tráficos no regulares o tramp son los que tienen índices más bajos. Respetando los límites inferiores que le correspondan de acuerdo con esta tabla, la operatividad más conveniente para cada caso deberá deducirse a partir de estudios de optimización económica.

Al igual que lo señalado para la fiabilidad y la funcionalidad, una vez fijada la operatividad conjunta, la asignación de probabilidad de ocurrencia a cada modo de parada operativa se realizará en el correspondiente árbol de fallos operativos con criterios equivalentes. Es decir, se asignarán las mayores probabilidades de ocurrencia de las paradas (operatividades mínimas) a aquellos modos de parada operativa cuyos aumentos de operatividad contribuyan más significativamente en los costes de la obra, de los canales de acceso y de las áreas de maniobra necesarias para la misma o en los costes operativos y productividades de la instalación de atraque (*modos de parada principales*). A los modos de parada no principales se les asignará probabilidades de parada muy pequeñas ($\leq 10^{-3}$).

Teniendo en cuenta la simultaneidad que se produce entre causas de suspensión o paralización adscritas a los diferentes grupos de paradas operativas, generalmente los modos de parada (causas de suspensión o de paralización de las operaciones) a los que se debe asignar las mayores probabilidades de parada son algunos de los modos de parada correspondientes a la paralización de las operaciones de carga y descarga, ya que no es conveniente que un buque deba suspender su permanencia en el atraque sin que previamente se haya producido una causa de paralización de las operaciones de carga y descarga. Asimismo, un buque debe poder permanecer en el atraque siempre que pueda acceder y atracar en el mismo. Particularmente, de entre las causas de paralización de las operaciones de carga y descarga o de embarque y desembarque de pasajeros es conveniente asignar las mayores probabilidades de parada a la paralización por incompatibilidad de movimientos del buque atracado con las operaciones de carga y descarga o de embarque y desembarque de pasajeros y a la paralización por razones de seguridad de los equipos de manipulación o de embarque y desembarque de pasajeros, así como de la operativa de los mismos, asociadas con aspectos resistentes funcionales o ambientales, dependiendo en este último caso de las condiciones climáticas locales en el emplazamiento, particularmente de las probabilidades de presentación de los límites de operatividad de los equipos asociados a la velocidad del viento.

Sin perjuicio de lo anterior, en algunos casos, criterios de optimización económica pueden aconsejar independizar la suspensión de la permanencia del buque en el atraque de la suspensión de la accesibilidad marítima. En estos casos, a alguno de los modos de parada del grupo correspondiente a la suspensión de la accesibilidad marítima podrá ser conveniente asignarles probabilidades de parada del mismo orden de magnitud que la probabilidad de parada conjunta.

En el apartado 4.1 de esta Recomendación se incluyen criterios para definir los diagramas de parada operativa, así como las oportunas recomendaciones para la asignación de probabilidad de ocurrencia a cada uno de los modos de parada. Asimismo en el apartado 3.2. Dimensionamiento en planta y alzado, en el apartado 4.6.4.2. Definición de las condiciones límite de operatividad para la realización de las operaciones de carga y descarga y embarque y desembarque de pasajeros, en el apartado 4.6.4.4.3. Definición de los límites de operatividad para la realización de las operaciones de atraque, en el apartado 4.6.4.4.7. Definición de los límites de operatividad para la permanencia del buque en el atraque, así como en la ROM 3.1. en lo que respecta a la definición de los límites de operatividad para la accesibilidad marítima, se incluyen criterios para la asignación de probabilidades de ocurrencia a cada uno de los modos de parada.

Complementariamente, otros indicadores de la operatividad son el número medio anual de paradas operativas y la duración máxima de parada operativa. Como los fallos de operatividad de las obras de atraque y amarre no tienen repercusiones sociales y ambientales significativas o son bajas, el número medio anual de paradas operativas máximo admisible estará en el intervalo entre 5 y 10. En la tabla 3.4.2.4 se incluyen los valores aplicables en función del uso de la obra de atraque y amarre, admitiéndose menores valores para los usos pesqueros y náutico-deportivos ya que, en estos casos, la parada operativa por limitación de accesibilidad al atraque puede dar lugar a la pérdida de vidas humanas al no ser capaces el tipo de embarcaciones que utilizan dichas instalaciones de capear el temporal. A su vez, en la tabla 3.4.4.1 se recogen las duraciones máximas probables de parada operativa que no es recomendable que sean superadas.

Para la fase de reparación será el Promotor el que fije si debe limitarse total o parcialmente las condiciones de operatividad de la obra de atraque en esa fase; por lo que, en general, no serán de aplicación, en estos casos, los valores mínimos de operatividad exigidos para la fase de servicio.

En las fases de construcción y desmantelamiento es usual que no se consideren situaciones de operatividad.

Tabla 3.4.4.1. Duraciones máximas probables de parada operativa (τ_{max}) para las obras de atraque y amarre que no es recomendable que sean superadas

ÍNDICE IREO	ÍNDICE ISAO	
	No significativo	Bajo
Bajo	24 horas	12 horas
Medio	12 horas	6 horas
Alto	6 horas	3 horas

SERIE 2

Obras portuarias interiores

RECOMENDACIONES PARA OBRAS MARÍTIMAS



ROM 2.0-11

[Tomo II]

**Recomendaciones para el proyecto y ejecución
en Obras de Atraque y Amarre**



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

Puertos del Estado



 **ROM 2.0-11**
[Tomo II]

Recomendaciones para el proyecto y ejecución
en Obras de Atraque y Amarre

Junio 2012

ÍNDICE

(TOMO II)

CAPÍTULO IV DEFINICIÓN DE LOS ESTADOS Y SITUACIONES
DE PROYECTO 25

(TOMO I)

Prólogo

CAPÍTULO I GENERAL

CAPÍTULO II TIPOS Y FUNCIONES DE LAS OBRAS DE
ATRAQUE Y AMARRE

CAPÍTULO III DIMENSIONAMIENTO EN PLANTA Y ALZADO, BASES
DE DISEÑO Y CRITERIOS GENERALES DE PROYECTO

PVP: 45 €



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

Puertos del Estado





ROM 2.0-11

[Tomo II]

**Recomendaciones para el proyecto y ejecución
en Obras de Atraque y Amarre**

1ª Edición

Junio 2012

EDICIÓN:

PUERTOS DEL ESTADO

REDACCIÓN PONENCIA:

José Llorca

PUERTOS DEL ESTADO

José Manuel González Herrero

ACCIONA INGENIERÍA

Sergi Ametller

SENER

**COORDINACIÓN Y DISEÑO
DE LA PUBLICACIÓN:**

Emilio Piñeiro Díaz

PUERTOS DEL ESTADO

IMPRESIÓN:

V.A. Impresores S.A.

I.S.B.N.:

978-84-88975-67-6 (Tomo II)

978-84-88975-78-2 (Obra completa)

DEPÓSITO LEGAL:

M-19073-2012

© Puertos del Estado

PRECIO:

45 € (IVA incluido)

Esta edición de la **ROM 2.0-11 (Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre)** consta de 1.000 ejemplares, editados en dos volúmenes.

– Tomo I: 148 páginas

– Tomo II: 468 páginas

Índice General

TOMO I

Prólogo

CAPÍTULO I. GENERAL

- 1.1. ÁMBITO DE APLICACIÓN
- 1.2. CONTENIDO
- 1.3. SISTEMA DE UNIDADES
- 1.4. RECOMENDACIONES Y NORMATIVA COMPLEMENTARIAS
- 1.5. PROCESO DE REDACCIÓN DE LA ROM 2.0-1 I
- 1.6. COMENTARIOS

CAPÍTULO II. TIPOS Y FUNCIONES DE LAS OBRAS DE ATRAQUE Y AMARRE

- 2.1. CLASIFICACIÓN GENERAL
- 2.2. CLASIFICACIÓN FUNCIONAL
- 2.3. CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN FÍSICA DEL ATRAQUE
 - 2.3.1. Obras de atraque de uso comercial
 - 2.3.1.1. Para graneles líquidos
 - 2.3.1.2. Para graneles sólidos
 - 2.3.1.3. Para mercancía general
 - 2.3.1.4. Para pasajeros
 - 2.3.2. Obras de atraque de uso pesquero
 - 2.3.3. Obras de atraque de uso náutico-deportivo
 - 2.3.4. Obras de atraque de uso industrial
 - 2.3.5. Obras de atraque de uso militar
- 2.4. CONCEPCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO GENERAL
 - 2.4.1. Partes y elementos de una obra de atraque y amarre
 - 2.4.2. Clasificación de las obras de atraque y amarre en función de la tipología estructural de sus partes
 - 2.4.2.1. Obras fijas cerradas
 - 2.4.2.2. Obras fijas abiertas
 - 2.4.2.3. Obras flotantes
- 2.5. CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL
 - 2.5.1. Consideraciones de uso y explotación
 - 2.5.2. Consideraciones geotécnicas
 - 2.5.3. Consideraciones morfológicas
 - 2.5.4. Consideraciones climáticas
 - 2.5.5. Consideraciones medioambientales
 - 2.5.6. Consideraciones constructivas y de los materiales

- 2.5.7. Consideraciones sísmicas
- 2.5.8. Consideraciones de conservación y mantenimiento

CAPÍTULO III. DIMENSIONAMIENTO EN PLANTA Y ALZADO Y CRITERIOS DE PROYECTO

- 3.1. INTRODUCCIÓN
- 3.2. DIMENSIONAMIENTO EN PLANTA Y ALZADO
 - 3.2.1. Dimensionamiento en planta
 - 3.2.1.1. Emplazamiento
 - 3.2.1.2. Orientación
 - 3.2.1.3. Alineaciones
 - 3.2.1.4. Número de atraques
 - 3.2.1.5. Longitud total de la línea de atraque
 - 3.2.1.6. Posición y dimensiones en planta de tacones y rampas
 - 3.2.1.7. Anchura
 - 3.2.1.8. Accesos terrestres
 - 3.2.2. Dimensionamiento el alzado
 - 3.2.2.1. Nivel de coronación del atraque
 - 3.2.2.2. Calado del atraque
 - 3.2.2.3. Perfil longitudinal de tacones y rampas
 - 3.2.2.4. Pendientes del área de operación y almacenamiento
- 3.3. BASES DE DISEÑO
 - 3.3.1. Procedimiento de verificación
 - 3.3.2. Modos de fallo asociados a estados límites últimos (ELU)
 - 3.3.3. Modos de fallo asociados a estados límites de servicio (ELS)
 - 3.3.4. Modos de parada asociados a estados límite de parada operativa (ELO)
 - 3.3.5. Métodos de cálculo
 - 3.3.5.1. Formulación de la ecuación de verificación
 - 3.3.5.2. Métodos de resolución de la ecuación de verificación y de cálculo de la probabilidad de fallo o parada
 - 3.3.5.3. Criterios para la aplicación de los métodos de resolución de la ecuación de verificación
- 3.4. CRITERIOS GENERALES DE PROYECTO
 - 3.4.1. Tramos
 - 3.4.2. Carácter general y operativo de cada tramo
 - 3.4.2.1. Carácter general del tramo
 - 3.4.2.2. Carácter operativo del tramo
 - 3.4.3. Fases de proyecto y su duración. Vida útil
 - 3.4.4. Criterios de seguridad, servicio y explotación
 - 3.4.4.1. Fiabilidad frente a modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos
 - 3.4.4.2. Funcionalidad frente a modos de fallo adscritos a Estados Límite de Servicio
 - 3.4.4.3. Operatividad frente a modos de parada adscritos a Estados Límite Operativos

TOMO II

CAPÍTULO IV. DEFINICIÓN DE LOS ESTADOS Y SITUACIONES DE PROYECTO

- 4.1. SELECCIÓN DE LOS ESTADOS A CONSIDERAR 25
 - 4.1.1. Para métodos de Nivel I 26

4.1.1.1.	Verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos	28
4.1.1.1.1.	Simultaneidad y valores compatibles de los agentes que definen los estados límite últimos de proyecto	30
4.1.1.2.	Verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio	39
4.1.1.3.	Verificación de modos de parada operativa	39
4.1.2.	Para métodos de Niveles II y III	47
4.2.	DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS	48
4.2.1.	Geometría de la obra de atraque y amarre	48
4.2.2.	Geometría del terreno	49
4.2.3.	Niveles de las aguas	50
4.3.	DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL TERRENO	50
4.3.1.	Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas	50
4.3.2.	Para formulaciones probabilistas	51
4.4.	DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	51
4.5.	DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL MEDIO FÍSICO	52
4.6.	DEFINICIÓN DE LOS AGENTES Y SUS ACCIONES	53
4.6.1.	Agente gravitatorio (q_g)	54
4.6.1.1.	Peso propio ($Q_{g,1}$)	54
4.6.1.2.	Pesos muertos ($Q_{g,2}$)	57
4.6.2.	Agentes del medio físico (q_f)	58
4.6.2.1.	Agentes atmosféricos básicos y climáticos marinos	59
4.6.2.1.1.	Formulación de las acciones debidas a los agentes climáticos	71
4.6.2.2.	Otros agentes climáticos atmosféricos ($q_{f,3}$)	98
4.6.2.3.	Agente térmico (q_{ft})	100
4.6.2.3.1.	Formulación de las acciones debidas a los agentes térmicos (Q_{ft})	101
4.6.2.4.	Agente sísmico (q_{fs})	104
4.6.2.4.1.	Formulación de las acciones debidas al sismo ($Q_{fs,1}$)	109
4.6.2.4.2.	Formulación de las acciones debidas al maremoto ($Q_{fs,2}$)	114
4.6.3.	Agentes del terreno (q_t)	117
4.6.3.1.	Formulación de las acciones debidas o transmitidas por el terreno (Q_t)	120
4.6.4.	Agentes de uso y explotación (q_v)	123
4.6.4.1.	Estacionamiento y almacenamiento de mercancías ($q_{v,1}$)	124
4.6.4.1.1.	Formulación de las acciones debidas a los agentes de estacionamiento y almacenamiento ($Q_{v,1}$)	134
4.6.4.2.	Manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros ($q_{v,2}$)	135
4.6.4.2.1.	Manipulación de mercancías en áreas de operación	135
4.6.4.2.1.1.	Cargas transmitidas por sistemas discontinuos de carga y descarga del buque por elevación ($q_{v,21}$)	136
4.6.4.2.1.1.1.	Cargas transmitidas por equipos fijos y de de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación ($q_{v,211}$)	136
4.6.4.2.1.1.2.	Cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación ($q_{v,212}$)	157

4.6.4.2.1.1.3.	Cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, utilizados para el transporte horizontal y depósito ($q_{v,213}$)	168
4.6.4.2.1.2.	Cargas transmitidas por sistemas discontinuos de carga y descarga del buque por medios rodantes ($q_{v,22}$)	180
4.6.4.2.1.2.1.	Cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes ($q_{v,221}$)	180
4.6.4.2.1.3.	Cargas transmitidas por sistemas continuos de carga y descarga del buque ($q_{v,23}$)	187
4.6.4.2.1.3.1.	Cargas transmitidas por sistemas de carga y descarga de graneles líquidos ($q_{v,231}$)	187
4.6.4.2.1.3.2.	Cargas transmitidas por sistemas continuos de carga y descarga de graneles sólidos ($q_{v,232}$) ..	193
4.6.4.2.2.	Manipulación de mercancías en áreas de almacenamiento ($q_{v,24}$)	196
4.6.4.2.3.	Embarque y desembarque de pasajeros ($q_{v,25}$)	207
4.6.4.2.4.	Manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo ($q_{v,26}$)	212
4.6.4.2.5.	Formulación de las acciones debidas a los agentes de manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros ($Q_{v,2}$)	217
4.6.4.3.	Tráfico terrestre ($q_{v,3}$)	219
4.6.4.3.1.	Tráfico viario ($q_{v,31}$)	219
4.6.4.3.2.	Tráfico ferroviario ($q_{v,32}$)	225
4.6.4.3.3.	Formulación de las acciones debidas a los agentes del tráfico terrestre ($Q_{v,3}$)	231
4.6.4.4.	Operaciones de los buques ($q_{v,4}$)	232
4.6.4.4.1.	Definición de la flota de buques en el atraque. Buques de proyecto	233
4.6.4.4.2.	Efectos hidrodinámicos inducidos por los buques en tránsito ($q_{v,41}$)	239
4.6.4.4.2.1.	Ondas generadas por los buques en tránsito	250
4.6.4.4.2.1.1.	Acciones debidas a las ondas generadas por los buques en tránsito	256
4.6.4.4.3.	Acciones de atraque ($q_{v,42}$)	256
4.6.4.4.3.1.	Métodos para la determinación de las acciones de atraque	259
4.6.4.4.3.1.1.	Definición de las condiciones límite de operatividad para la realización de las maniobras de atraque	259
4.6.4.4.3.1.2.	Cuantificación de las energías cinéticas cedidas al sistema de atraque (E_p)	260
4.6.4.4.3.1.3.	Definición de la fuerza de impacto ($Q_{v,42 T}$)	294
4.6.4.4.3.1.4.	Definición de la fuerza de rozamiento ($Q_{v,42 L}$)	313
4.6.4.4.3.2.	Criterios para la elección del tipo y características del sistema de atraque	315
4.6.4.4.3.3.	Transmisión de las cargas de atraque a la estructura	323
4.6.4.4.4.	Impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque ($q_{v,43}$)	324
4.6.4.4.4.1.	Métodos para la determinación de las acciones debidas al impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque	326

4.6.4.4.2.	Comprobaciones complementarias para la elección del tipo y características del sistema de atraque asociadas con la energía cinética debida a impactos accidentales del buque durante las maniobras de atraque	329
4.6.4.4.5.	Corrientes generadas por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques ($q_{v,44}$)	331
4.6.4.4.5.1.	Máxima velocidad horizontal de la corriente en el fondo marino	333
4.6.4.4.5.2.	Velocidad horizontal de la corriente en el fondo marino mínima	342
4.6.4.4.6.	Acciones debidas a los portalones del buque ($q_{v,45}$)	343
4.6.4.4.6.1.	Características de los portalones de los buques	345
4.6.4.4.6.2.	Determinación de las acciones debidas a los portalones del buque	345
4.6.4.4.6.3.	Cargas mínimas debidas a los portalones del buque	353
4.6.4.4.7.	Acciones de amarre ($q_{v,46}$)	354
4.6.4.4.7.1.	Métodos para la determinación de las acciones de amarre ...	359
4.6.4.4.7.1.1.	Definición de la configuración y características del sistema de amarre y defensas	360
4.6.4.4.7.1.2.	Métodos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados	377
4.6.4.4.7.1.3.	Modelos matemáticos	387
4.6.4.4.7.1.4.	Modelos experimentales	458
4.6.4.4.7.2.	Criterios de aplicación y de distribución de las cargas de amarre en los elementos estructurales	460
4.6.4.4.7.3.	Cargas de amarre mínimas en puntos de amarre y defensas	463

Índice de Figuras (Tomo II)

CAPÍTULO IV. DEFINICIÓN DE LOS ESTADOS Y SITUACIONES DE PROYECTO

Figura 4.6.2.1.	Ejemplos de funciones de densidad conjuntas bivariadas, funciones de distribución marginales y condicionadas y funciones de correlación asociadas (Agente: oleaje)	60
Figura 4.6.2.2.	Acciones debidas a los niveles de agua asociados a mareas y niveles fluviales. Ejemplos en obras de gravedad y pantallas	79
Figura 4.6.2.3.	Dominios de preponderancia de las fuerzas hidrodinámicas del oleaje sobre las obras de atraque y amarre	81
Figura 4.6.2.4.	Acciones del oleaje sobre un pilote (o pila) aislado vertical	90
Figura 4.6.2.5.	Dominio de validez de las distintas teorías del oleaje	94
Figura 4.6.2.6.	Acciones del oleaje sobre un pilote (o pila) aislado inclinado	94
Figura 4.6.2.7.	Mapas de Isotermas de las temperaturas máximas y mínimas del aire a la sombra en España, correspondientes a un periodo de retorno de 50 años (nivel de confianza del 90%) en °C....	102
Figura 4.6.2.8.	Mapa español de peligrosidad sísmica (según norma española NCSE-02)	108
Figura 4.6.4.1.	Comparación de grúas pórtico de contenedores convencionales y no convencionales en relación con la altura sobre carriles en posición de estacionamiento	151
Figura 4.6.4.2.	Ejemplos de sistemas continuos de carga y descarga de buques de graneles sólidos	194
Figura 4.6.4.3.	Ejemplos de equipos para el embarque y desembarque de pasajeros	207
Figura 4.6.4.4.	Equipos de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo	213
Figura 4.6.4.4.bis.	Definición de la composición y características de la flota esperada de buques en la obra de atraque y amarre en un intervalo de tiempo determinado por medio de la función de densidad del parámetro representativo: capacidad de carga del buque. Ejemplo del atraque de una terminal de contenedores	234
Figura 4.6.4.5.	Características de las ondas generadas por un buque en tránsito en aguas de profundidad constante con $F_r \geq 0,85$ (Hipótesis de profundidades reducidas)	253
Figura 4.6.4.6.	Descripción temporal de la componente dominante de las acciones de atraque	257
Figura 4.6.4.7.	Valor representativo de la energía cinética absorbida por el sistema de atraque durante la maniobra de atraque en condiciones normales operativas, en función del desplazamiento del buque, obtenida por métodos estadísticos (Puerto de Rotterdam)	261
Figura 4.6.4.8.	Atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante a obras de atraque fijas continuas	264
Figura 4.6.4.9.	Atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante a obras de atraque fijas continuas	273
Figura 4.6.4.10.	Atraque lateral o de costado mediante traslación longitudinal preponderante a obra fija	274
Figura 4.6.4.11.	Atraque por proa o por popa mediante traslación longitudinal preponderante a obra fija...	274
Figura 4.6.4.12.	Atraque por proa o popa mediante traslación longitudinal a obras de atraque fijas a partir de buque parado	278
Figura 4.6.4.13.	Atraque lateral o de costado mediante una traslación transversal preponderante a una estación de transferencia a flote. Atraque buque a buque	280
Figura 4.6.4.14.	Modelos numéricos de simulación de maniobras de buques. Ejemplo de gráfico de resultados de evolución de movimientos en planta	288
Figura 4.6.4.15.	Curvas de comportamiento del sistema de atraque durante el ciclo de histéresis asociado a cada impacto del buque	295
Figura 4.6.4.16.	Metodología para la determinación de la fuerza de impacto a partir de las curvas de comportamiento o de fuerza/desplazamiento horizontal de la defensa y de la estructura de atraque	297
Figura 4.6.4.17.	Ejemplo de curvas de comportamiento de una defensa en condiciones normalizadas y factores de corrección para otras condiciones	300

Figura 4.6.4.18.	Determinación de los valores característicos o nominales de la curva de comportamiento de una defensa a partir de la curva normalizada	303
Figura 4.6.4.19.	Factores que inciden en la compresión no uniforme de la defensa dependientes de la forma del casco del buque en el punto de impacto	304
Figura 4.6.4.20.	Curvas de comportamiento de sistemas de defensa múltiples	306
Figura 4.6.4.21.	Curvas de comportamiento asociadas a cada tipo de defensas, para similar capacidad de absorción de energía en el dominio admisible ($E_{fmax} > 650 \text{ kNm}$)	310
Figura 4.6.4.22.	Ejemplo de curva de comportamiento característica de una estructura como elemento de un sistema de atraque (Duque de Alba monopilote)	312
Figura 4.6.4.23.	Definición de la componente de rozamiento de las acciones de atraque a partir de la fuerza de impacto. Transmisión a la estructura resistente a través de elementos auxiliares	314
Figura 4.6.4.24.	Definición de cargas (F) y presiones de contacto (w) entre el sistema de defensas y el casco del buque en el caso de defensas elastoméricas aisladas	318
Figura 4.6.4.25.	Ejemplos de aspectos que condicionan la máxima deformación admisible del sistema de atraque en el momento del impacto	320
Figura 4.6.4.26.	Definición de parámetros para obtener el espaciamiento máximo entre defensas aisladas en un sistema de atraque continuo por razones de la curvatura del buque en planta en el área de impacto	321
Figura 4.6.4.27.	Definición de componentes axiales del campo de velocidades de corriente generadas por hélices de buques ($E_n = 0$) sin alteración por la presencia de obras u otros obstáculos ..	332
Figura 4.6.4.28.	Definición de las acciones debidas a las rampas o portones del buque	344
Figura 4.6.4.29.	Ejemplo de registro tipo de cargas de amarre en una línea de amarre en un estado meteorológico, en la condición de trabajo operativa de permanencia del buque en atraque ..	356
Figura 4.6.4.30.	Ejemplos de espectros de la componente de fluctuación de cargas de amarre correspondientes a líneas de amarre de través de un buque gasero de 125.000 m ³ en un estado meteorológico, en situación de plena carga amarrado de costado	356
Figura 4.6.4.31.	Ejemplo de registro tipo de cargas de amarre en una defensa de un estado meteorológico, en la condición de trabajo operativa de permanencia del buque en el atraque	357
Figura 4.6.4.32.	Ejemplos de diagramas tensión-deformación correspondientes a amarras tipo	365
Figura 4.6.4.33.	Descomposición de fuerzas en línea de amarre y defensas	391
Figura 4.6.4.34.	Obtención de las fuerzas en los elementos de amarre y defensas por medio de la definición previa de las funciones de correlación entre cada movimiento horizontal del buque amarrado, la componente de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores que lo genera y las cargas de amarre a que da lugar	392
Figura 4.6.4.35.	Esquema de cálculo para la determinación de las fuerzas resultantes sobre un buque amarrado a un amarradero fijo de orientación libre	412
Figura 4.6.4.36.	Esquema de cálculo para la determinación de las cargas de amarre en el caso de buque amarrado a un sistema de amarre de orientación fija constituido por dos boyas, una en proa y otra en popa	414
Figura 4.6.4.37.	Esquema de cálculo para la determinación de las cargas de amarre en el caso de buque amarrado a un sistema de amarre de orientación fija constituido por dos puntos de amarre en proa y dos en popa	416
Figura 4.6.4.38.	Ejemplo de series temporales de movimientos y cargas en las líneas de atraque obtenidas mediante la aplicación de modelos numéricos	449
Figura 4.6.4.39.	Ejemplo de funciones de densidad espectral de las amplitudes de los movimientos de giro de un buque amarrado, obtenidas mediante modelos numéricos	449
Figura 4.6.4.40.	Ejemplo de obtención de valores límite de operatividad mediante modelos numéricos considerando únicamente la suspensión de la permanencia del buque en el atraque por superación de cargas admisibles en líneas de amarre	455
Figura 4.6.4.41.	Ejemplo de modelo experimental para la determinación de cargas de amarre y movimientos del buque amarrado	460
Figura 4.6.4.42.	Direcciones de actuación del valor representativo de las cargas en los puntos de amarre, para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque	461
Figura 4.6.4.43.	Direcciones de actuación del valor representativo de las cargas en los puntos de amarre, para buque amarrado a un amarradero de orientación fija formado por sistemas múltiples	462

Índice de Tablas (Tomo II)

CAPÍTULO IV. DEFINICIÓN DE LOS ESTADOS Y SITUACIONES DE PROYECTO

Tabla 4.1.1.1.	Diagrama metodológico para la distribución de la probabilidad de que se produzca un modo de fallo i , adscrito a Estados Límite Últimos, entre las diferentes condiciones de trabajo	29
Tabla 4.1.1.2.	Valores representativos compatibles de los agentes de actuación simultánea en condiciones Extremas (Combinación fundamental para modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos)	34
Tabla 4.1.1.3.	Valores representativos compatibles de los agentes de actuación simultánea en condiciones Extremas o Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (Combinación fundamental para modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos)	40
Tabla 4.1.1.4.	Valores representativos compatibles de los agentes de actuación simultánea en condiciones Operativas (Combinación fundamental para modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos)	42
Tabla 4.1.1.5.	Ejemplo de diagrama de Parada operativa de una instalación de atraque (Atraque de uso comercial para mercancía general no peligrosa con manipulación de mercancías mediante sistemas discontinuos de elevación, emplazado en un área interior o abrigada respecto al oleaje y no adosado a una obra de abrigo. Para condiciones de permanencia en el atraque menos limitativas que las condiciones de accesibilidad del buque al puesto de atraque)	46
Tabla 4.6.1.1.	Pesos específicos unitarios o aparentes y porosidades usuales de elementos constructivos y estructurales	55
Tabla 4.6.1.2.	Cuantificación de adherencias marinas en las aguas costeras españolas	58
Tabla 4.6.2.1.	Variables de estado de los agentes climáticos que generalmente se adoptan para la definición de las acciones que actúan sobre las obras de atraque y amarre	61
Tabla 4.6.2.2.	Valores representativos de las variables de estado principales de los agentes climáticos (Para fase de servicio de obras definitivas) para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo (combinaciones fundamentales o poco probables)	68
Tabla 4.6.2.3.	Valores representativos estimados de los niveles de agua en puertos españoles respecto al nivel medio del mar, combinada marea astronómica-meteorológica (en m)	73
Tabla 4.6.2.4.	Coefficientes de arrastre (C_D) para el cálculo de las fuerzas de arrastre debidas a la acción de la corriente ($10^3 < Re < 10^5$)	76
Tabla 4.6.2.5.	Acciones de oleaje sin rotura sobre los paramentos exteriores de obras lineales de atraque fijas cerradas, totalmente reflejantes y no rebasables	83
Tabla 4.6.2.6.	Acciones del oleaje sin rotura sobre los parámetros de intradós enterrados en las obras lineales de pantallas o recintos totalmente reflejantes y no rebasables	84
Tabla 4.6.2.7.	Subpresiones hidrodinámicas producidas por el oleaje sin rotura sobre la base de obras lineales de gravedad totalmente reflejantes cimentadas sobre banquetas de escollera u otro material granular	86
Tabla 4.6.2.8.	Coefficientes de arrastre (C_D) para el cálculo de las fuerzas de arrastre debidas a la acción del oleaje sin rotura	91
Tabla 4.6.2.9.	Parámetros de la onda regular asociados a la teoría lineal del oleaje	95
Tabla 4.6.2.10.	Valores representativos de las sobrecargas de nieve en España (en kN/m^2)	100
Tabla 4.6.2.11.	Valores representativos del coeficiente de dilatación térmica lineal	101
Tabla 4.6.2.12.	Variables de estado relevantes de los agentes sísmicos significativos para obras de atraque y amarre	105
Tabla 4.6.2.13.	Valores representativos de las variables de estado de los agentes de proyecto en un estado sísmico para fase de servicio de obras definitivas (Para la verificación de modos de	

	fallo adscritos a estados límite últimos y de servicio con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo)	106
Tabla 4.6.2.14.	Valores recomendados para el factor α que afecta al coeficiente sísmico para obras de atraque y amarre fijas cerradas	111
Tabla 4.6.2.15.	Acciones estáticas equivalentes en el estado sísmico sobre obras de atraque y amarre fijas cerradas	112
Tabla 4.6.2.16.	Acciones del maremoto en condiciones de no rotura sobre obras lineales de atraque fijas cerradas de gravedad semi-infinitas o adosadas a la costa	116
Tabla 4.6.4.1.	Valores representativos de las cargas y sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento (Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos)	126
Tabla 4.6.4.2.	Pesos específicos aparentes y ángulos de rozamiento interno de mercancías y suministros usuales estacionados o almacenados en zonas portuarias, según forma de presentación ...	128
Tabla 4.6.4.3.	Alturas máximas usuales de apilamiento de mercancías y suministros en explanadas exteriores de áreas portuarias (considerando condiciones usuales de explotación)	130
Tabla 4.6.4.4.	Valores nominales mínimos de las sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento en obras de atraque y amarre	132
Tabla 4.6.4.5.	Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación	138
Tabla 4.6.4.6.	Formato para la descomposición de las cargas transmitidas por grúas portico de movilidad restringida en función de los diferentes agentes actuantes, a suministrar por el fabricante ...	139
Tabla 4.6.4.7.	Formato para la descomposición de las cargas transmitidas por equipos de manipulación de contenedores de movilidad restringida en función de los diferentes agentes actuantes, a suministrar por el fabricante	141
Tabla 4.6.4.8.	Valores representativos de las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías fijos y de movilidad restringida (Para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo)	147
Tabla 4.6.4.9.	Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas pórtico estándar o convencionales sobre carriles	148
Tabla 4.6.4.10.	Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas pórtico estándar o convencionales sobre carriles para contenedores	153
Tabla 4.6.4.11.	Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida sobre neumáticos (Grúas móviles)	159
Tabla 4.6.4.12.	Formato para la descomposición de las cargas transmitidas por grúas móviles sobre neumáticos en función de los diferentes agentes actuantes, a suministrar por el fabricante	160
Tabla 4.6.4.13.	Valores representativos de las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías de movilidad no restringida (Grúas móviles) para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos	164
Tabla 4.6.4.14.	Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas portuarias móviles estándar	165
Tabla 4.6.4.15.	Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, utilizados para el transporte horizontal y depósito	170
Tabla 4.6.4.16.	Valores representativos de las cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos de transporte horizontal y depósito, de movilidad no restringida (Para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos)	176
Tabla 4.6.4.17.	Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por equipos portuarios auxiliares estándar de transporte y depósito de movilidad no restringida	177
Tabla 4.6.4.18.	Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes	182
Tabla 4.6.4.19.	Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida estándar con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes	185
Tabla 4.6.4.20.	Parámetros que definen las cargas transmitidas por brazos articulados fijos en sistemas continuos de manipulación de graneles líquidos	189
Tabla 4.6.4.21.	Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por brazos articulados fijos tipo sistemas continuos de manipulación de graneles líquidos	191

Tabla 4.6.4.22. Valores recomendados para los desplazamientos, giros y amplitudes máximos admisibles del buque atracado compatibles con las operaciones de carga y descarga de mercancías y de embarque y desembarque de pasajeros con equipos convencionales en condiciones seguras	197
Tabla 4.6.4.23. Resumen: sobre cargas mínimas de manipulación de mercancías en áreas de operación ...	198
Tabla 4.6.4.24. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por pórticos sobre neumáticos (RTG) o carriles (RMG) estándar para áreas de almacenamiento	204
Tabla 4.6.4.25. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por camiones volquete estándar (Dumper)	206
Tabla 4.6.4.26. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por pasarelas móviles estándar de movilidad restringida para el embarque y desembarque de pasajeros (Tramo único o tramo final de acceso al buque)	210
Tabla 4.6.4.27. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por carretilla pórtico estándar para manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo (TRAVELIFT)	216
Tabla 4.6.4.28. Modelos de carga teóricos normalizados equivalentes al tráfico en áreas portuarias. Configuración geométrica y valores característicos de las cargas	220
Tabla 4.6.4.29. Modelos de carga teóricos normalizados equivalentes al tráfico viario. Valores representativos de las cargas (Para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos)	223
Tabla 4.6.4.30. Modelo de carga teórico normalizado equivalente al tráfico ferroviario en áreas portuarias. Configuración geométrica y valores característicos de las cargas	226
Tabla 4.6.4.31. Modelos de carga teóricos normalizados equivalentes al tráfico ferroviario en áreas portuarias. Valores representativos de las cargas (Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos con probabilidades de fallo menores que 5% en la correspondiente condición de trabajo)	229
Tabla 4.6.4.32. Definición de los parámetros representativos geométricos de capacidad y de situación de carga del buque y relaciones entre los mismos	235
Tabla 4.6.4.33. Parámetros representativos de los buques en función de su tipología y capacidad de carga...	240
Tabla 4.6.4.34. Características de las ondas generadas por un buque en tránsito con $F_r < 0,85$ (Hipótesis de aguas profundas). Estela de Kelvin	251
Tabla 4.6.4.35. Valores representativos de las variables de estado del agente de ondas generadas por buque en tránsito	255
Tabla 4.6.4.36. Valores representativos de la componente normal de las velocidades de aproximación del buque en el momento del impacto (V_b), para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante, en el caso de que no haya registros disponibles	268
Tabla 4.6.4.37. Valores representativos de la componente normal de las velocidades de aproximación del buque en el momento del impacto (V_b), para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante, en el caso de que no haya registros disponibles	269
Tabla 4.6.4.38. Resumen del método matemático analítico para determinar la energía cinética desarrollada por un buque y cedida al sistema de atraque durante la operación de atraque	282
Tabla 4.6.4.39. Valores representativos de la energía cinética desarrollada por un buque y cedida al sistema de atraque durante las operaciones de atraque (determinada mediante métodos matemáticos analíticos) para la verificación de estados límite con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo	284
Tabla 4.6.4.41. Valores nominales usuales del coeficiente de fricción entre el casco del buque y su sistema de atraque (m_f)	315
Tabla 4.6.4.42. Órdenes de magnitud de los valores máximos admisibles de las presiones sobre el casco de los buques	317
Tabla 4.6.4.43. Factores parciales de amplificación para la determinación del valor nominal de la energía cinética cedida por cada tipo de buque al sistema de atraque en condiciones excepcionales debidas al impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque, a partir del valor representativo de la energía cinética definida para condiciones de trabajo correspondientes a la realización de maniobras de atraque en condiciones normales (para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo menores del 5%)	327
Tabla 4.6.4.44. Valores nominales de la energía cinética desarrollada por el buque y cedida al sistema de atraque en condiciones excepcionales debidas al impacto accidental del buque durante las	

	maniobras de atraque para fase de servicio de obras definitivas (Para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo menores del 5%)	328
Tabla 4.6.4.45.	Definición de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices de los buques y embarcaciones auxiliares en el fondo marino durante las operaciones de atraque y desatraque o durante la permanencia de los buques en el atraque cuando se considere la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre ...	334
Tabla 4.6.4.46.	Valores representativos de la máxima velocidad para las corrientes generadas en el fondo marino por la acción de las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques y embarcaciones auxiliares durante las operaciones de atraque y desatraque o, en el caso de que se utilicen embarcaciones auxiliares como configuración del sistema de amarre, durante la permanencia del buque en el atraque (para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos o de servicio con probabilidades de fallo menores del 5%).....	339
Tabla 4.6.4.47.	Valores representativos de las acciones verticales debidas a los portalones del buque (Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos)	351
Tabla 4.6.4.48.	Valores recomendados para los desplazamientos, giros y amplitudes máximos admisibles del buque atracado compatibles con permanencia en el atraque por condiciones funcionales, para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque fija y para buque amarrado por proa a un amarradero de orientación libre	361
Tabla 4.6.4.49.	Clasificación y definición de condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque	370
Tabla 4.6.4.50.	Disposición estándar del sistema de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque continua (muelle o pantalán continuo), para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en atraques tipos I y II (para buques con $L \geq 25$ m).	371
Tabla 4.6.4.51.	Disposición estándar del sistema de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque continua (muelle o pantalán continuo), para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque tipo III (para buques con $L \geq 25$ m)	372
Tabla 4.6.4.52.	Disposición estándar del sistema de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque continua: pantalán discontinuo o solución mixta (para buques con $L \geq 25$ m)	373
Tabla 4.6.4.53.	Disposición estándar del sistema de amarre para embarcación amarrada de costado a una obra de atraque continua, para condiciones climáticas límite de permanencia de la embarcación en los atraques tipos I y II (para embarcaciones con $L < 25$ m)	374
Tabla 4.6.4.54.	Disposición estándar del sistema de amarre para embarcación amarrada de costado a una obra de atraque continua, para condiciones climáticas límite de permanencia de la embarcación en el atraque tipo III (para embarcaciones con $L < 25$ m)	375
Tabla 4.6.4.55.	Disposición estándar del sistema de amarre para buques y embarcaciones amarrados por proa a un amarradero de orientación libre	376
Tabla 4.6.4.56.	Disposición estándar del sistema de amarre para buques amarrados a un campo de boyas (para buques con $L \geq 25$ m)	378
Tabla 4.6.4.57.	Disposición estándar del sistema de amarre para embarcaciones amarradas de punta a un campo de boyas y/o pantalán (para buques con $L < 25$ m)	380
Tabla 4.6.4.58.	Valores representativos de las cargas de amarre, utilizando para su determinación métodos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados	385
Tabla 4.6.4.59.	Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija	394
Tabla 4.6.4.60.	Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de presión debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija	397
Tabla 4.6.4.61.	Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de fricción debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija	400
Tabla 4.6.4.62.	Resultante horizontal de las fuerzas hidrodinámicas de repulsión sobre el buque amarrado lateralmente o de costado, causadas por fuertes corrientes longitudinales	402
Tabla 4.6.4.63.	Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del oleaje sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija	403

Tabla 4.6.4.64. Evolución tipo de las componentes de la resultante horizontal sobre el buque amarrado debida a los efectos hidrodinámicos de succión y rechazo inducidos por el paso de buques en tránsito y formulación para estimar el valor de pico de las componentes de dicha resultante	409
Tabla 4.6.4.65. Valores representativos de las componentes medias de las cargas de amarre utilizando modelos matemáticos analíticos para su determinación (Para la verificación de estados límite últimos con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo)	436
Tabla 4.6.4.66. Valores característicos mínimos de las cargas en los puntos de amarre, para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque en condiciones climáticas tipos I y II, para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque	463
Tabla 4.6.4.67. Valores característicos mínimos de las cargas en los puntos de amarre, para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque en condiciones climáticas tipos I y II , para buque amarrado por proa a un amarradero de orientación libre (monoboya o monoduque de alba)	464

Capítulo IV
***Definición de los estados
y situaciones de proyecto***



Índice Capítulo IV

CAPÍTULO IV. DEFINICIÓN DE LOS ESTADOS Y SITUACIONES DE PROYECTO

4.1.	SELECCIÓN DE LOS ESTADOS A CONSIDERAR	25
4.1.1.	Para métodos de Nivel I	26
4.1.1.1.	Verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos	28
4.1.1.1.1.	Simultaneidad y valores compatibles de los agentes que definen los estados límite últimos de proyecto	30
4.1.1.2.	Verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio	39
4.1.1.3.	Verificación de modos de parada operativa	39
4.1.2.	Para métodos de Niveles II y III	47
4.2.	DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS	48
4.2.1.	Geometría de la obra de atraque y amarre	48
4.2.2.	Geometría del terreno	49
4.2.3.	Niveles de las aguas	50
4.3.	DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL TERRENO	50
4.3.1.	Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas	50
4.3.2.	Para formulaciones probabilistas	51
4.4.	DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	51
4.5.	DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL MEDIO FÍSICO	52
4.6.	DEFINICIÓN DE LOS AGENTES Y SUS ACCIONES	53
4.6.1.	Agente gravitatorio (q_g)	54
4.6.1.1.	Peso propio ($Q_{g,1}$)	54
4.6.1.2.	Pesos muertos ($Q_{g,2}$)	57
4.6.2.	Agentes del medio físico (q_f)	58
4.6.2.1.	Agentes atmosféricos básicos y climáticos marinos	59
4.6.2.1.1.	Formulación de las acciones debidas a los agentes climáticos	71
4.6.2.2.	Otros agentes climáticos atmosféricos ($q_{f,c,3}$)	98
4.6.2.3.	Agente térmico (q_{ft})	100
4.6.2.3.1.	Formulación de las acciones debidas a los agentes térmicos (Q_{ft})	101
4.6.2.4.	Agente sísmico (q_{fs})	104
4.6.2.4.1.	Formulación de las acciones debidas al sismo ($Q_{fs,1}$)	109
4.6.2.4.2.	Formulación de las acciones debidas al maremoto ($Q_{fs,2}$)	114
4.6.3.	Agentes del terreno (q_t)	117
4.6.3.1.	Formulación de las acciones debidas o transmitidas por el terreno (Q_t)	120
4.6.4.	Agentes de uso y explotación (q_v)	123
4.6.4.1.	Estacionamiento y almacenamiento de mercancías ($q_{v,1}$)	124
4.6.4.1.1.	Formulación de las acciones debidas a los agentes de estacionamiento y almacenamiento ($Q_{v,1}$)	134

4.6.4.2.	Manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros ($q_{v,2}$)	135
4.6.4.2.1.	Manipulación de mercancías en áreas de operación	135
4.6.4.2.1.1.	Cargas transmitidas por sistemas discontinuos de carga y descarga del buque por elevación ($q_{v,21}$)	136
4.6.4.2.1.1.1.	Cargas transmitidas por equipos fijos y de de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación ($q_{v,211}$)	136
4.6.4.2.1.1.2.	Cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación ($q_{v,212}$)	157
4.6.4.2.1.1.3.	Cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, utilizados para el transporte horizontal y depósito ($q_{v,213}$)	168
4.6.4.2.1.2.	Cargas transmitidas por sistemas discontinuos de carga y descarga del buque por medios rodantes ($q_{v,22}$)	180
4.6.4.2.1.2.1.	Cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes ($q_{v,221}$)	180
4.6.4.2.1.3.	Cargas transmitidas por sistemas continuos de carga y descarga del buque ($q_{v,23}$)	187
4.6.4.2.1.3.1.	Cargas transmitidas por sistemas de carga y descarga de graneles líquidos ($q_{v,231}$)	187
4.6.4.2.1.3.2.	Cargas transmitidas por sistemas continuos de carga y descarga de graneles sólidos ($q_{v,232}$) ..	193
4.6.4.2.2.	Manipulación de mercancías en áreas de almacenamiento ($q_{v,24}$)	196
4.6.4.2.3.	Embarque y desembarque de pasajeros ($q_{v,25}$)	207
4.6.4.2.4.	Manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo ($q_{v,26}$)	212
4.6.4.2.5.	Formulación de las acciones debidas a los agentes de manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros ($Q_{v,2}$)	217
4.6.4.3.	Tráfico terrestre ($q_{v,3}$)	219
4.6.4.3.1.	Tráfico viario ($q_{v,31}$)	219
4.6.4.3.2.	Tráfico ferroviario ($q_{v,32}$)	225
4.6.4.3.3.	Formulación de las acciones debidas a los agentes del tráfico terrestre ($Q_{v,3}$)	231
4.6.4.4.	Operaciones de los buques ($q_{v,4}$)	232
4.6.4.4.1.	Definición de la flota de buques en el atraque. Buques de proyecto	233
4.6.4.4.2.	Efectos hidrodinámicos inducidos por los buques en tránsito ($q_{v,41}$)	239
4.6.4.4.2.1.	Ondas generadas por los buques en tránsito	250
4.6.4.4.2.1.1.	Acciones debidas a las ondas generadas por los buques en tránsito	256
4.6.4.4.3.	Acciones de atraque ($q_{v,42}$)	256
4.6.4.4.3.1.	Métodos para la determinación de las acciones de atraque	259
4.6.4.4.3.1.1.	Definición de las condiciones límite de operatividad para la realización de las maniobras de atraque	259
4.6.4.4.3.1.2.	Cuantificación de las energías cinéticas cedidas al sistema de atraque (E_f)	260

4.6.4.4.3.1.3.	Definición de la fuerza de impacto ($Q_{v,42 T}$) ...	294
4.6.4.4.3.1.4.	Definición de la fuerza de rozamiento ($Q_{v,42 L}$)	313
4.6.4.4.3.2.	Criterios para la elección del tipo y características del sistema de atraque	315
4.6.4.4.3.3.	Transmisión de las cargas de atraque a la estructura	323
4.6.4.4.4.	Impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque ($q_{v,43}$) ...	324
4.6.4.4.4.1.	Métodos para la determinación de las acciones debidas al impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque	326
4.6.4.4.4.2.	Comprobaciones complementarias para la elección del tipo y características del sistema de atraque asociadas con la energía cinética debida a impactos accidentales del buque durante las maniobras de atraque	329
4.6.4.4.5.	Corrientes generadas por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques ($q_{v,44}$)	331
4.6.4.4.5.1.	Máxima velocidad horizontal de la corriente en el fondo marino	333
4.6.4.4.5.2.	Velocidad horizontal de la corriente en el fondo marino mínima	342
4.6.4.4.6.	Acciones debidas a los portalones del buque ($q_{v,45}$)	343
4.6.4.4.6.1.	Características de los portalones de los buques	345
4.6.4.4.6.2.	Determinación de las acciones debidas a los portalones del buque	345
4.6.4.4.6.3.	Cargas mínimas debidas a los portalones del buque	353
4.6.4.4.7.	Acciones de amarre ($q_{v,46}$)	354
4.6.4.4.7.1.	Métodos para la determinación de las acciones de amarre ...	359
4.6.4.4.7.1.1.	Definición de la configuración y características del sistema de amarre y defensas	360
4.6.4.4.7.1.2.	Métodos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados	377
4.6.4.4.7.1.3.	Modelos matemáticos	387
4.6.4.4.7.1.4.	Modelos experimentales	458
4.6.4.4.7.2.	Criterios de aplicación y de distribución de las cargas de amarre en los elementos estructurales	460
4.6.4.4.7.3.	Cargas de amarre mínimas en puntos de amarre y defensas	463

4.1 SELECCIÓN DE LOS ESTADOS A CONSIDERAR

Para analizar un determinado modo de fallo adscrito a un estado límite es preciso plantear para la obra o tramo de la misma una geometría, unas propiedades de los materiales, del medio físico y del terreno, y unos agentes y acciones que, en general, serán una simplificación de la realidad válida durante un cierto intervalo de tiempo durante el cual los factores de proyecto y la respuesta estructural, funcional u operativa de la obra pueden suponerse estacionarios estadísticamente. Estas simplificaciones se denominan *estados o situaciones*.

La duración del estado cuantifica el tiempo que debe transcurrir para que se produzca un cambio significativo en la manifestación del proceso y, en consecuencia, el tiempo durante el cual se admite que se cumple la hipótesis de estacionariedad. Por tanto, en todos los casos la descripción de los diferentes factores de proyecto de actuación simultánea que definen un estado debe fundamentarse en la compatibilidad de sus escalas temporales de variabilidad con la duración del estado. En general, el agente predominante es el que selecciona la duración del estado, debiendo utilizarse, para los restantes agentes, descriptores que caractericen su variabilidad en el plazo temporal del estado en el cual se realiza la verificación.

En función de su variabilidad temporal en el estado considerado, los factores de proyecto se clasifican en:

- ◆ Permanentes, cuando la probabilidad de ocurrencia del valor representativo adoptado para el factor de proyecto es aproximadamente igual a la unidad en el estado considerado y el tiempo medio de actuación o de excedencia de dicho valor sea aproximadamente igual a la duración de dicho estado.
- ◆ No permanentes o variables, cuando la probabilidad de ocurrencia del valor representativo adoptado para el factor de proyecto esté próxima a la unidad en el estado considerado y cuyo tiempo medio de actuación o de excedencia sea menor que la duración de dicho estado.
- ◆ Extraordinarios o insólitos, cuando la probabilidad de ocurrencia del valor representativo adoptado para el factor de proyecto sea considerablemente menor que la unidad en el estado considerado y cuyo tiempo medio de actuación sea mucho menor que la duración de dicho estado.

Por tanto, un factor de proyecto no tiene el carácter de permanente, variable o extraordinario de forma intrínseca, sino que depende del estado que se considere.

Para cada modo de fallo, la selección de estados a considerar en los procesos de verificación se realizará analizando todas las posibles condiciones en las que se encontrará la obra de atraque durante cada una de las fases de proyecto, considerando cuando pueden adoptarse valores estacionarios en sentido estadístico de los diferentes factores de proyecto: geometría, propiedades y agentes y acciones. La selección de estados que, como mínimo, se debe considerar en el proyecto de obras de atraque y amarre se ajustará a los siguientes criterios:

- ◆ Para cada fase de proyecto (construcción, servicio, reparación y desmantelamiento) se seleccionarán estados que tomen en consideración:
 - Las modificaciones en la geometría de la obra.
 - Las variaciones en el comportamiento de los materiales de construcción.
 - Los cambios en el comportamiento del terreno.
 - Los ciclos de sollicitación ⁽¹⁾ a los que se encuentra sometida la instalación de atraque, los cuales se definen para cada modo de fallo o parada a partir de la excedencia (para los modos de parada y para

(1) La ROM 0.0 y la ROM 1.0 utilizan la denominación “ciclos de operatividad” refiriéndose a los “ciclos de calmas” o ciclos de carencia o de reducida sollicitación. Esta denominación es clara en aquellos casos en los que *la excedencia* de valores umbrales de los agentes climáticos define todos los ciclos de sollicitación a los que está sometida la obra portuaria, lo que es totalmente aplicable a obras de abrigo. No obstante, en obras de atraque hay ciclos de sollicitación asociados a la situación de normal uso y explotación de la instalación (p.e. buque en el atraque realizándose operaciones de carga y descarga o de embarque y desembarque de pasajeros), definidos por la *no excedencia* de determinados valores de los agentes de uso y explotación o climáticos, utilizándose también la denominación “de operatividad” para estos casos. Por dichas razones y con el objetivo de evitar que aspectos semánticos puedan dar lugar a confusiones técnicas, se recomienda utilizar únicamente la denominación “de operatividad” para definir los de sollicitación asociados a condiciones normales de operación, usando “ciclos de calma” para cuando se emplee en el sentido conceptual de la ROM 0.0 y ROM 1.0.

los modos de fallo en condiciones de trabajo extremas y excepcionales) o no excedencia (para modos de fallo en condiciones operativas) de niveles umbral de los agentes predominantes o agentes que desencadenan respectivamente la ocurrencia de cada modo de fallo (último o de servicio) o de parada en cada caso. A estos efectos, para una obra de atraque y amarre los agentes predominantes para la definición de los diferentes ciclos de solicitud a los que está sometida la instalación son los climáticos, los de uso y explotación y, en su caso, el sismo u otras acciones extraordinarias o accidentales, en función de las condiciones de trabajo consideradas.

- ◆ Respecto al comportamiento del terreno se analizará su variación, simultáneamente a la de las presiones intersticiales, durante todas las fases de proyecto, tanto en relación con su evolución en el tiempo (p.e. debido a procesos de consolidación naturales o artificiales) como en relación con las cargas actuantes (p.e. durante la actuación del sismo o el oleaje) con el objeto de tomar en consideración y analizar todos los estados que a estos efectos pueden presentarse durante cada una de las fases de proyecto o establecer la compatibilidad entre el comportamiento del terreno y las cargas actuantes. Como mínimo, se analizarán las posibilidades de que puedan presentarse los siguientes tipos de estados:
 - a) *Situaciones sin drenaje*: el terreno se comporta en condiciones no drenadas y, por tanto, durante un cierto intervalo de tiempo se producen aumentos o disminuciones de las presiones intersticiales por la actuación de los diferentes agentes.
 - b) *Situaciones con drenaje*: el terreno se comporta en condiciones drenadas, no produciéndose en consecuencia aumentos o reducciones transitorios de las presiones intersticiales por la actuación de los diferentes agentes.

Sin perjuicio de que en algunos casos deban analizarse situaciones intermedias, en particular cuando se presenten acciones oscilatorias.

En la ROM 0.5 y en los apartados de esta Recomendación correspondientes a los agentes y acciones cuya actuación puede modificar el comportamiento del terreno se analizan las condiciones del terreno y de los agentes actuantes en las que pueden presentarse cada una de estas situaciones.

A los efectos de organizar los cálculos de verificación de cada modo de fallo o parada, se recomienda que la definición de los estados de proyecto se realice considerando los ciclos de solicitud a que está sometida la obra en cada diferente configuración geométrica, así como en cada tipo de comportamiento de los materiales y del terreno que puedan darse durante la fase de proyecto considerada. Esta ordenación da lugar a la división de la fase de proyecto en diversas subfases, en cada una de las cuales puede considerarse que la configuración geométrica y el comportamiento de los materiales y del terreno tienen un carácter permanente.

La selección de los estados límite de proyecto que en cada fase y subfase de proyecto se deben considerar en el proyecto de obras de atraque y amarre se ajustará a los siguientes criterios en función del método adoptado para la formulación y resolución de la ecuación de verificación:

4.1.1 Para métodos de Nivel I

Para formulaciones deterministas y determinista-probabilista de las ecuaciones de verificación se considerará siempre que los agentes están definidos por sus variables de estado.

Para la verificación de modos de fallo o parada, los estados de proyecto en cada fase o subfase diferenciada se agrupan en condiciones de trabajo, en función de los diferentes ciclos de solicitud en los que se presentan los agentes predominantes. Para las obras de atraque y amarre se considerarán, como mínimo las siguientes condiciones de trabajo:

- ◆ Condiciones de trabajo operativas.
- ◆ Condiciones de trabajo extremas.
- ◆ Condiciones de trabajo excepcionales.

Las condiciones de trabajo permiten definir las diferentes condiciones de simultaneidad y los valores compatibles de los agentes a los que está sometida la obra de atraque, las cuales caracterizan los estados límite que deben considerarse en las verificaciones mediante métodos de Nivel I. En definitiva, las diferentes combinaciones de agentes y acciones que deben considerarse en cada fase o subfase de proyecto para la verificación de cada uno de los modos de fallo y parada.

Las condiciones de trabajo se definen en función del agente considerado como predominante de acuerdo con los siguientes criterios:

- a) *Estados representativos de los diferentes ciclos de solicitud asociados a la explotación de la instalación de atraque: **Condiciones de trabajo operativas (CTI)***: En estas condiciones los agentes predominantes son los de uso y explotación, los cuales, una vez definidos, pueden en general correlacionarse con los agentes climáticos (viento, oleaje, corriente, nivel del mar y otras perturbaciones del medio físico). En las obras de atraque y amarre se distinguirán, como mínimo, los siguientes modos de parada generales que dan lugar a las condiciones de trabajo operativas:
- ◆ Accesibilidad marítima.
 - ◆ Operaciones de atraque del buque.
 - ◆ Permanencia de los buques en el atraque sin realizar operaciones de carga y descarga.
 - ◆ Realización de las operaciones de carga y descarga de mercancías o embarque y desembarque de pasajeros con buque atracado.

Sin perjuicio de que deban distinguirse otros modos de parada que afecten a operaciones en las que no intervenga el buque o la interacción buque-estructura (p.e. operaciones de depósito, apilamiento, recogida y transporte en el área de almacenamiento).

Cada uno de estos modos de parada puede ser debido a una o a varias causas de paralización, dando lugar a los diferentes límites de operatividad de los agentes de uso y explotación que pueden afectar a la operación considerada en el emplazamiento.

Los estados límite en las condiciones de trabajo correspondientes a cada modo de parada dependen de las causas de paralización, definiéndose para cada una de ellas a partir de los valores límite de operatividad del o de los agentes de uso y explotación que afectan a la operación considerada, establecidos, bien por criterios de explotación, ambientales, legales o de seguridad (p.e. máximos movimientos admisibles del buque en el atraque compatibles con las operaciones de carga y descarga) o bien a partir de ventanas de operatividad asociadas a la probabilidad de no excedencia de los agentes de uso y explotación correspondientes al valor establecido como requisito de proyecto para la causa de paralización considerada, en los casos en que los agentes de uso y explotación no tengan establecidos límites absolutos de operatividad (p.e. los asociados con los niveles de las aguas exteriores) o, cuando los tengan, se considere que la instalación de atraque por cualquier razón debe limitar su operatividad por debajo de dichos valores límite. En estos casos dicha probabilidad se definirá por medio de los regímenes medios conjuntos y de persistencias de los agentes de uso y explotación. En ausencia de regímenes conjuntos podrá admitirse la utilización de regímenes marginales del agente predominante y de los agentes independientes de él, así como de regímenes medios condicionados y de funciones de correlación para los agentes dependientes de los mismos.

No obstante, dado que los agentes de uso y explotación tienen una gran dependencia de los agentes climáticos y debido a una menor complejidad en el tratamiento, habitualmente se definen estos estados límite a partir de los valores umbrales de los agentes climáticos que provocan los diferentes modos de parada operativa para los buques, los equipos y los medios de explotación considerados, establecidos igualmente, bien por criterios de explotación, ambientales, legales o de seguridad, bien a partir de ventanas operativas definidas por medio de los regímenes medios conjuntos o marginales de dichos agentes, considerando la probabilidad de no excedencia definida como requisito de proyecto para el modo de parada y causa de paralización considerados. En ausencia de regímenes conjuntos también podrá admitirse la utilización de regímenes marginales de los agentes independientes así como de regímenes

medios condicionados y funciones de correlación para los agentes dependientes de los mismos de acuerdo con lo definido a estos efectos en esta Recomendación. Si los valores límite de los agentes climáticos establecidos para definir una parada operativa no son alcanzables en el emplazamiento con una probabilidad anual de presentación mayor de 10^{-3} en el régimen medio, se considerarán los valores asociados a dicha probabilidad para definir el estado límite de proyecto en condiciones operativas.

En los casos en los que el Promotor de la instalación de atraque considere que ésta no debe tener limitada su operatividad para una determinada operativa y agente climático (p.e. quiere asegurar la permanencia del buque en el atraque independientemente de la velocidad del viento), bien por criterios de explotación, bien por condicionantes infraestructurales o bien porque el valor límite de operatividad de un determinado agente climático no es alcanzable en el emplazamiento con probabilidades relevantes, los estados límites en esta condición de trabajo cuando se considere dicho agente como predominante se tratarán como estados asociados a condiciones extremas. También se tratarán como estados asociados a condiciones extremas cuando no se dispongan sistemas y protocolos de parada automática de la instalación y de no operatividad cuando se superen los valores umbral establecidos de los agentes climáticos.

- b) *Estados representativos de los ciclos de solicitud asociados a la actuación de agentes climáticos y térmicos de carácter extremo: **Condiciones de trabajo extremas (CT2)***: estados representativos de los ciclos de solicitud de los agentes climáticos y térmicos (viento, oleaje, corriente, nivel del mar, ...), que son considerados los agentes predominantes. En estas condiciones se considera que la obra de atraque y amarre no está operativa, salvo cuando el agente climático o térmico predominante no incida en la operatividad o cuando el Promotor establezca específicamente que la instalación no tenga limitada alguna operativa independientemente de la circunstancia climática asociada con dicho agente. Los estados límite en estas condiciones se definirán a partir de los regímenes extremos conjuntos de los agentes climáticos con un mismo origen, considerando la probabilidad de excedencia igual o menor correspondiente al cumplimiento de los requerimientos de seguridad o de servicio definidos como requisito de proyecto para el modo de fallo considerado en estas condiciones. En ausencia de regímenes conjuntos podrá admitirse la utilización de regímenes marginales del agente predominante y de los agentes independientes de él, así como de regímenes condicionados y funciones de correlación para los agentes dependientes de los mismos de acuerdo con lo establecido a estos efectos en esta Recomendación.
- c) *Estados representativos de los ciclos de solicitud de una instalación cuando actúa un agente extraordinario o insólito: **Condiciones de trabajo excepcionales (CT3)***: estados representativos de los ciclos de solicitud asociados a la actuación de un agente climático de carácter extraordinario (CT3,1), de una acción accidental o insólita (CT3,2) y del agente sísmico (CT3,31 para el sismo extremal y CT3,32 para el sismo extraordinario). Los estados límites se definirán a partir de valores nominales o, en su caso, de los regímenes extremos de dichos agentes y de los regímenes medios del resto de agentes.

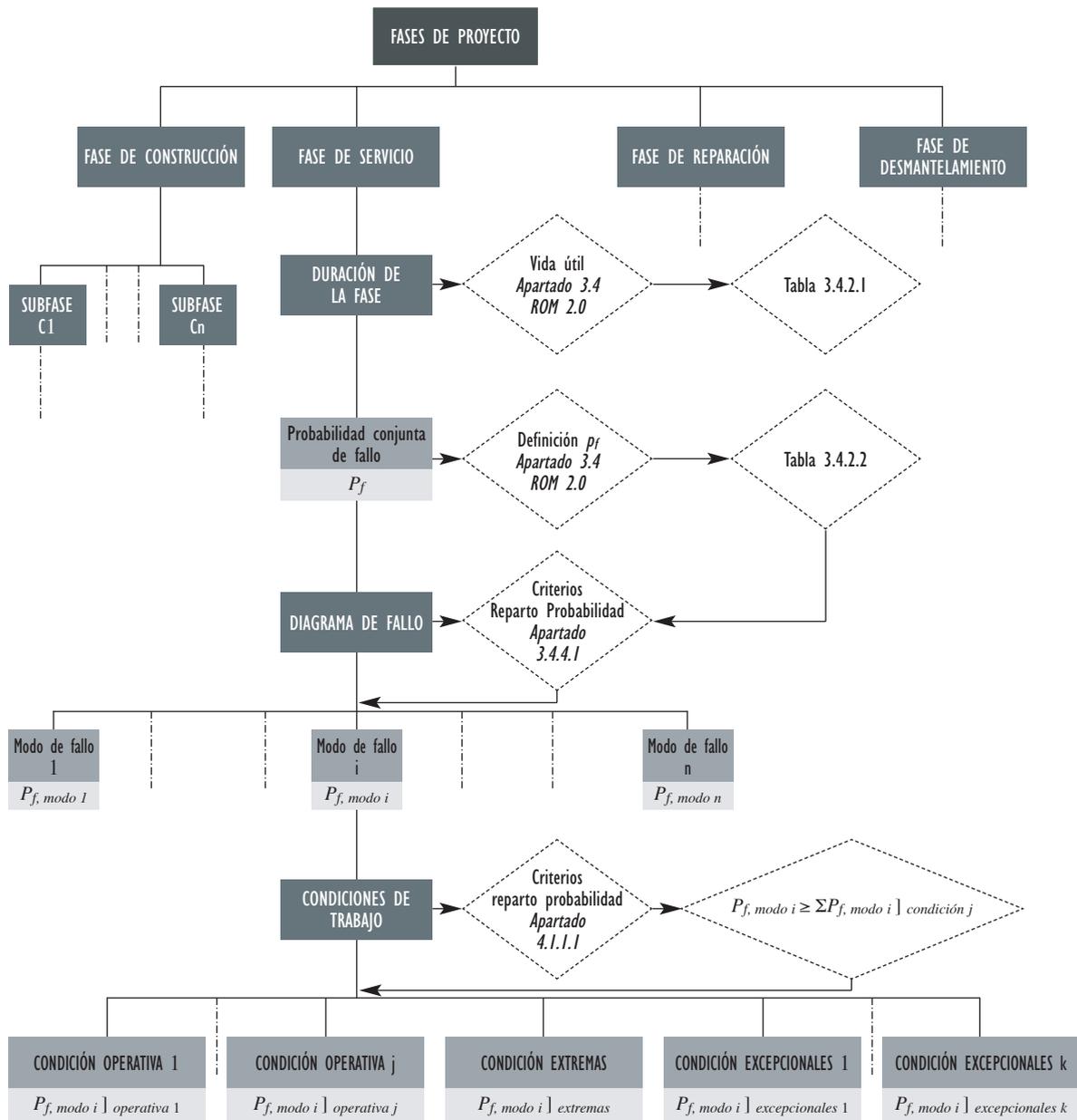
4.1.1.1. Verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos

Para las obras de atraque y amarre se verificará que la probabilidad de ocurrencia de cada modo de fallo (i) adscrito a estados límites últimos en la fase de proyecto considerada es menor o igual que la probabilidad de fallo asignada a dicho modo en el correspondiente diagrama de fallo ($P_{f, modo i}$). Ver apartados 2.5.3 y 2.5.4. de la ROM 1.0 y 3.4.4. de esta Recomendación (Ver figura 4.1.1.1).

Considerando que las condiciones de trabajo (ciclos de solicitud) a las que se encuentra sometida la obra de atraque en cada fase de proyecto (operativas, extremas y excepcionales) son mutuamente excluyentes, la probabilidad de que se produzca un modo de fallo en la fase considerada será igual a la suma de las probabilidades de que se produzca dicho modo de fallo en cada una de las condiciones de trabajo que puedan diferenciarse (Ver figura 4.1.1.1). Es decir, deberá cumplirse:

$$P_{f, modo i} \geq P_{f, modo i} \left[\text{condiciones operativas } 1 + \dots + P_{f, modo i} \left[\text{condiciones operativas } j + \dots + P_{f, modo i} \left[\text{condiciones extremas} + P_{f, modo i} \left[\text{condiciones excepcionales } 1 + \dots + P_{f, modo i} \left[\text{condiciones excepcionales } k \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right.$$

Tabla 4.1.1.1. Diagrama metodológico para la distribución de la probabilidad de que se produzca un modo de fallo i , adscrito a Estados Límite Últimos, entre las diferentes condiciones de trabajo



La distribución de probabilidades entre las distintas condiciones de trabajo se realizará por criterios de optimización económica, asignando prácticamente toda la probabilidad de fallo a la condición de trabajo que es más crítica para el dimensionamiento de la obra y verificando que en el resto de condiciones de trabajo se cumpla el criterio incondicional de no fallo ($p_f < 10^{-4}$). Dicha condición de trabajo crítica suele estar asociada al agente predominante para el modo de fallo analizado en el emplazamiento. Es decir, la condición de trabajo crítica será una condición operativa si el agente predominante para el modo de fallo es de uso y explotación, la condición extrema si el agente predominante es climático y una condición excepcional si el agente predominante es extraordinario o accidental. En el caso de que no esté claramente definido cuál es el agente predominante para el modo de fallo analizado en el emplazamiento, deberá repetirse la verificación del modo considerando que el fallo puede producirse sucesivamente en cada una de las condiciones de trabajo y, por tanto, asignando toda la probabilidad de ocurrencia del modo a dicha condición, con el objeto de alcanzar el dimensionamiento óptimo de la obra.

Sin perjuicio de lo anterior, simplificada como criterio general podrá adoptarse que en condiciones operativas así como en condiciones excepcionales cuando están asociadas a la actuación de un agente extraordinario definido mediante un valor nominal no se debe producir el fallo (se debe verificar el criterio incondicional de no fallo), asignando toda la probabilidad de fallo bien a condiciones extremas bien a excepcionales, siempre que el agente extraordinario que defina esta última condición de trabajo tenga una función de distribución conocida, dependiendo de cual de estas condiciones sea más crítica para el dimensionamiento (2).

4.1.1.1.1. SIMULTANEIDAD Y VALORES COMPATIBLES DE LOS AGENTES QUE DEFINEN LOS ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS DE PROYECTO

a) En condiciones de trabajo extremas

En la verificación de un modo de fallo en condiciones de trabajo extremas debidas a la actuación del agente climático considerado predominante para dicho modo de fallo se aplicarán los siguientes criterios de simultaneidad y compatibilidad para la definición de los valores representativos de los agentes que actúan en dicha condición de trabajo, los cuales definen el estado límite de proyecto:

- a₁) Se excluirán los agentes climáticos que por razones físicas no pueden ocurrir o porque los valores del agente asociado a la probabilidad de fallo del modo en estas condiciones no son relevantes en el emplazamiento. Además se excluirán los agentes climáticos que no pueden ser simultáneos, bien por razones físicas en el emplazamiento o bien por ser la probabilidad conjunta prácticamente nula para todo el intervalo de valores posibles.
- a₂) Para cada conjunto de agentes climáticos simultáneos se determinarán los valores compatibles de los diferentes agentes, teniendo en cuenta su origen y dependencia y la probabilidad de ocurrencia adjudicada al modo de fallo en condiciones extremas de acuerdo con lo dispuesto en este apartado. Para formulaciones determinista-probabilistas de las ecuaciones de verificación de los modos de fallo, simplificada se considerará que el fallo en estas condiciones está inducido principalmente por el agente climático que se considere predominante en el emplazamiento para el modo de

(2) Esta simplificación es razonable, dado que en las obras portuarias en general las condiciones de operación están definidas considerando que no se superan valores límite de operatividad de los agentes de uso y explotación y, por tanto, que no hay incertidumbre en la excedencia de los mismos, por lo que debe exigirse que quede garantizado el criterio incondicional de no fallo en dichas condiciones de trabajo ($p_f < 10^{-4}$). El mismo razonamiento es válido para condiciones excepcionales cuando están asociadas a la actuación de un agente extraordinario definido a través de un valor nominal.

(3) En el caso general, la probabilidad de ocurrencia, al menos una vez durante la fase analizada, de un modo de fallo causado por el conjunto de los ciclos de sollicitación de los agentes climáticos que pueden considerarse como no excluyentes e independientes entre sí [(A ciclo atmosférico global), B (ciclo atmosférico local), C (ciclo astronómico), ...] es:

$$1 - \Pi(1 - p_i) = [p_A + p_B + p_C] - [p_A p_B + p_A p_C + p_B p_C] + [p_A p_B p_C] \cong p_A + p_B + p_C$$

Siendo p_A, p_B y p_C , respectivamente la probabilidad de ocurrencia del modo de fallo considerando que es producido por un único agente climático. Esta formulación es válida si consideramos que el fallo puede ser inducido únicamente por el ciclo de sollicitación de un agente, tanto actuando sólo como simultáneamente con otros agentes, sin considerar la posibilidad de que el fallo pueda ser debido a la contribución de efectos de los agentes de diferentes ciclos actuando conjuntamente, los cuales por separado no llegarían a producir el fallo. Es decir, sin considerar que la actuación de un agente de un ciclo con un determinado valor puede no dar lugar al fallo (p.e. oleaje), pero sí este mismo valor conjuntamente con la actuación simultánea de otro ciclo (p.e. oleaje+marea astronómica). En la expresión no interviene la probabilidad de presentación conjunta, sino la de que se produzcan fallos debidos a cada ciclo tanto aislada como simultáneamente. Dada en la práctica la inviabilidad en cálculos de Nivel I de tomar en consideración todas y cada una de las variables que inciden y de las posibilidades existentes que dan lugar al fallo (que sí se consideran cuando la verificación se realiza en Niveles II y III), simplificada en esta Recomendación es admisible para las formulaciones semiprobabilistas de las ecuaciones de verificación cumplir la anterior expresión realizando la hipótesis de que la ocurrencia del modo de fallo en condiciones extremas es causado únicamente por el ciclo de sollicitación del agente climático predominante para dicho modo y, por tanto el valor representativo que se adopta para la variable principal del mismo es el correspondiente a una probabilidad de excedencia en la fase de proyecto igual a la probabilidad asignada al modo de fallo analizado en dichas condiciones. A estos efectos es equivalente a considerar que los otros ciclos no pueden producir el fallo y que, por tanto, cuando se produce un fallo debido a la actuación del ciclo de sollicitación climática predominante, no es relevante para el fallo la situación en que se encuentran el resto de agentes climáticos independientes. Por dicha razón, del lado de la seguridad y por homogeneidad con el planteamiento

fallo analizado (3). En el caso de que no esté claramente definido el agente climático que puede ser predominante en la inducción del modo de fallo considerado se repetirá el proceso de verificación sucesivamente para cada uno de los agentes que pudieran ser predominantes. En función de dicha probabilidad, se adoptará como valor representativo de la variable principal que define al agente climático predominante el siguiente:

- ◆ Para probabilidades de fallo > 5%
 - El correspondiente a una probabilidad de excedencia en la fase de proyecto igual a la probabilidad adjudicada al modo de fallo, tomado en la función de distribución de extremos marginal de dicha variable. La relación entre la probabilidad de excedencia de una variable, n , durante una fase de proyecto de duración $L(p_{n,L})$ y su periodo de retorno (T_R) viene dada por la expresión:

$$p_{n,L} = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^L$$

- ◆ Para probabilidades de fallo $\leq 5\%$, siempre que se disponga de ecuaciones de verificación del modo de fallo taradas con coeficientes de mayoración y seguridad que lleven a las citadas probabilidades de fallo con los siguientes valores representativos (4):
 - Para fase de servicio, el correspondiente a un periodo de retorno (T_R) de 50 años, obtenido de la función de distribución de extremos marginal de dicha variable, en su caso, en la dirección considerada.
 - Para fases transitorias (construcción, reparación, fases transitorias de comportamiento del terreno, ...), el correspondiente a un periodo de retorno del mismo orden de magnitud que

utilizado para las verificaciones probabilistas (Niveles II y III) en las que trabajamos con la función de distribución extremal conjunta (todos los agentes están actuando en ciclo de sollicitación), para las variables principales asociadas a los agentes que definen los otros ciclos climáticos de sollicitación se adoptarán como valores representativos compatibles aquéllos cuya probabilidad conjunta de presentación de los ciclos de sollicitación sea sustancialmente la misma que la adoptada para definir el valor representativo de la variable principal del agente predominante. Es decir:

$$P_{v, \text{modo i} | \text{condiciones extremas}} = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^V > \left[1 - \left(1 - \frac{1}{T_{R1}}\right)^V\right] \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{1}{T_{R2}}\right)^V\right] \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{1}{T_{R3}}\right)^V\right]$$

Del lado de la seguridad, a falta de mejor criterio se recomienda adoptar como valores representativos compatibles de las variables principales de los agentes climáticos independientes del predominante los correspondientes a un periodo de retorno mínimo de 5 años en fase de servicio. Para fases transitorias, se adoptará el correspondiente a un periodo de retorno de 1 año.

- (4) En los métodos de Nivel I, para la verificación de modos de fallo con criterio incondicional de no fallo o probabilidades de fallo pequeñas (< 5%), el valor representativo de la variable principal del agente predominante adoptado no suele coincidir con el correspondiente a una probabilidad de excedencia igual a la probabilidad adjudicada al modo de fallo. En general para estas probabilidades de fallo se adoptan otros valores representativos por las siguientes razones:
- Los valores correspondientes a probabilidades de presentación bajas de los agentes climáticos (Periodos de retorno altos > 1.000 años), obtenidos de las funciones de distribución extremales, suelen tener bandas de confianza muy grandes asociadas al nivel de confianza normalmente exigido del 90%, por lo que aplicar el método general definido para probabilidades de fallo > 0,05 con dicha incertidumbre estadística podría dar lugar a importantes sobredimensionamientos de las obras.
 - En formulaciones deterministas o deterministas-probabilistas, muchas de las ecuaciones de verificación correspondientes a los distintos modos de fallo de pérdida de equilibrio estático, estructurales y geotécnicos normalmente utilizadas en la ingeniería civil están generalmente asociadas a condiciones nominales de no fallo ($p_f < 10^{-4}$) o a muy bajas probabilidades de fallo ($p_{f, \text{modo } i} < 10^{-2}$). Dichas ecuaciones están normalmente definidas con coeficientes de mayoración y/o seguridad considerando que los valores representativos de la variable climática predominante están asociados a probabilidades de presentación del orden de 0,5-0,6 durante la fase de proyecto analizada, lo que equivale a periodos de retorno del orden de magnitud de la duración de la fase de proyecto analizada (valores extremales medios en dicho periodo) Como criterio general, se adopta 50 años para fase de servicio de duración igual o menor a 50 años.
- En aquellos modos de fallo, normalmente específicos de la ingeniería marítima y portuaria (p.e. modos de fallo de inestabilidad hidráulica), en los que no estén disponibles con validez reconocida ecuaciones de verificación definidas con coeficientes de mayoración y seguridad que lleven a probabilidades nominales de no fallo o bajas utilizando los citados valores representativos, deberá procederse a su obtención mediante la aplicación de métodos de Nivel II o III (Ver ROM 0.0). En tanto no se disponga de dichos coeficientes, es más fiable aplicar en estos casos a las ecuaciones de verificación disponibles los valores representativos de las variables climáticas obtenidos por medio de los procedimientos y la metodología establecidos para la definición de los valores representativos cuando las probabilidades de presentación del modo de fallo en estas condiciones de trabajo es mayor del 5%.

la duración de dicha fase para las fases transitorias prolongadas en relación con la duración de la fase de servicio y el doble de dicho valor para los casos de transitoriedad menos prolongada, con un valor mínimo de 2 años, obtenido de la función de distribución de extremos, en la dirección considerada.

- a₃) Los valores representativos compatibles de las variables principales del resto de los agentes climáticos que sean independientes del predominante serán, independientemente de la probabilidad de fallo:
- ◆ Para fase de servicio, el correspondiente a un periodo de retorno (T_R) de 5 años, tomado en la función de distribución de extremos marginal de la variable, en la dirección considerada. Si la variable puede actuar en varias direcciones y se disponen de regímenes extremos direccionales, el valor representativo compatible asociado a un sector direccional i será igual al correspondiente al cuantil ($1-p/f(\alpha_i)$) del régimen direccional de extremos utilizado o a cero si dicho valor es negativo, siendo $f(\alpha_i)$ la frecuencia de presentación del sector direccional i , considerando únicamente las excedencias de los valores umbrales de la variable que definen las condiciones extremas y p la probabilidad de excedencia correspondiente al periodo de retorno de 5 años en la función extremal utilizada.
 - ◆ Para fases transitorias, el correspondiente a un periodo de retorno de 1 año, tomado en la función de distribución de extremos, en la dirección considerada, obtenido de igual forma que lo señalado en el epígrafe anterior.
- a₄) Los valores representativos compatibles del resto de variables del agente climático predominante o de los otros agentes climáticos independientes se obtendrán a partir de los valores representativos adoptados para la variable principal del agente con el que están correlacionados, adoptando el cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada condicionada a dicho valor y , en su caso, dirección de la variable principal, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada.
- a₅) Los valores representativos del resto de agentes de actuación simultánea serán los valores característicos o de combinación definidos para cada uno de ellos en esta Recomendación.
- ◆ Para los agentes considerados de carácter permanente en el estado definido por el agente climático predominante se adoptará:
 - El valor característico en el caso de agentes no dependientes de los agentes climáticos
 - El valor de combinación en el caso de agentes en los que algún agente climático tenga incidencia en la definición del mismo. En este último caso para la definición del valor de combinación se considerará que la variable del agente climático que tiene incidencia en el mismo actúa con el valor representativo compatible con el adoptado para el agente climático predominante, de acuerdo con lo definido en este apartado.
 - ◆ Para los agentes de carácter variable en el estado definido por el agente climático predominante, se adoptará:
 - El valor característico en el caso de agentes desfavorables para el modo de fallo considerado en los que el agente climático predominante tenga incidencia en la definición del mismo.
 - El valor de combinación en los casos de agentes, desfavorables para el modo de fallo considerado, en que ningún agente climático tenga incidencia en su definición o que el agente climático que tiene incidencia no sea el predominante. En este último caso para la definición del valor de combinación se considerará que la variable del agente climático que tiene incidencia en el mismo actúa con el valor representativo compatible con el adoptado para el agente climático predominante, de acuerdo con lo definido en este apartado ⁽⁵⁾.

(5) Por ejemplo en el caso de una obra de atraque situada en una zona no abrigada, en la que el agente climático predominante que define la condición extremal es el oleaje, el valor representativo de las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías fijos o de movilidad restringida será el valor de combinación definido para condiciones extremas y no el característico, ya que el viento no es el agente climático predominante para el modo de fallo analizado.

Los valores característicos y de combinación de estos agentes se detallan en el apartado correspondiente a su definición (apartado 4.6 de esta Recomendación).

Los valores representativos compatibles de los agentes de actuación simultánea que se deben considerar en condiciones extremas se resumen en la figura 4.1.1.2. La combinación de los valores representativos compatibles de los agentes de actuación simultánea correspondientes a condiciones extremas constituye la combinación denominada poco frecuente o fundamental para condiciones extremas.

Para la verificación de modos de fallo en obras de atraque y amarre, el agente climático predominante en condiciones extremas en función del emplazamiento de la obra, así como las correlaciones existentes en esa área entre los agentes climáticos en el estado meteorológico definido por el agente climático predominante, se analizan en el apartado 4.6.2.1 de esta Recomendación.

b) En condiciones de trabajo excepcionales

En la verificación de un modo de fallo en condiciones de trabajo excepcionales se considera que el agente predominante que define estas condiciones de trabajo es un agente climático extraordinario, un agente accidental o el agente sísmico (sismo o maremoto), aplicándose los siguientes criterios de simultaneidad y compatibilidad para la definición de los valores representativos de los agentes que actúan en dicha condición de trabajo, en función del agente extraordinario predominante.

b₁) En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la actuación de un agente climático extraordinario

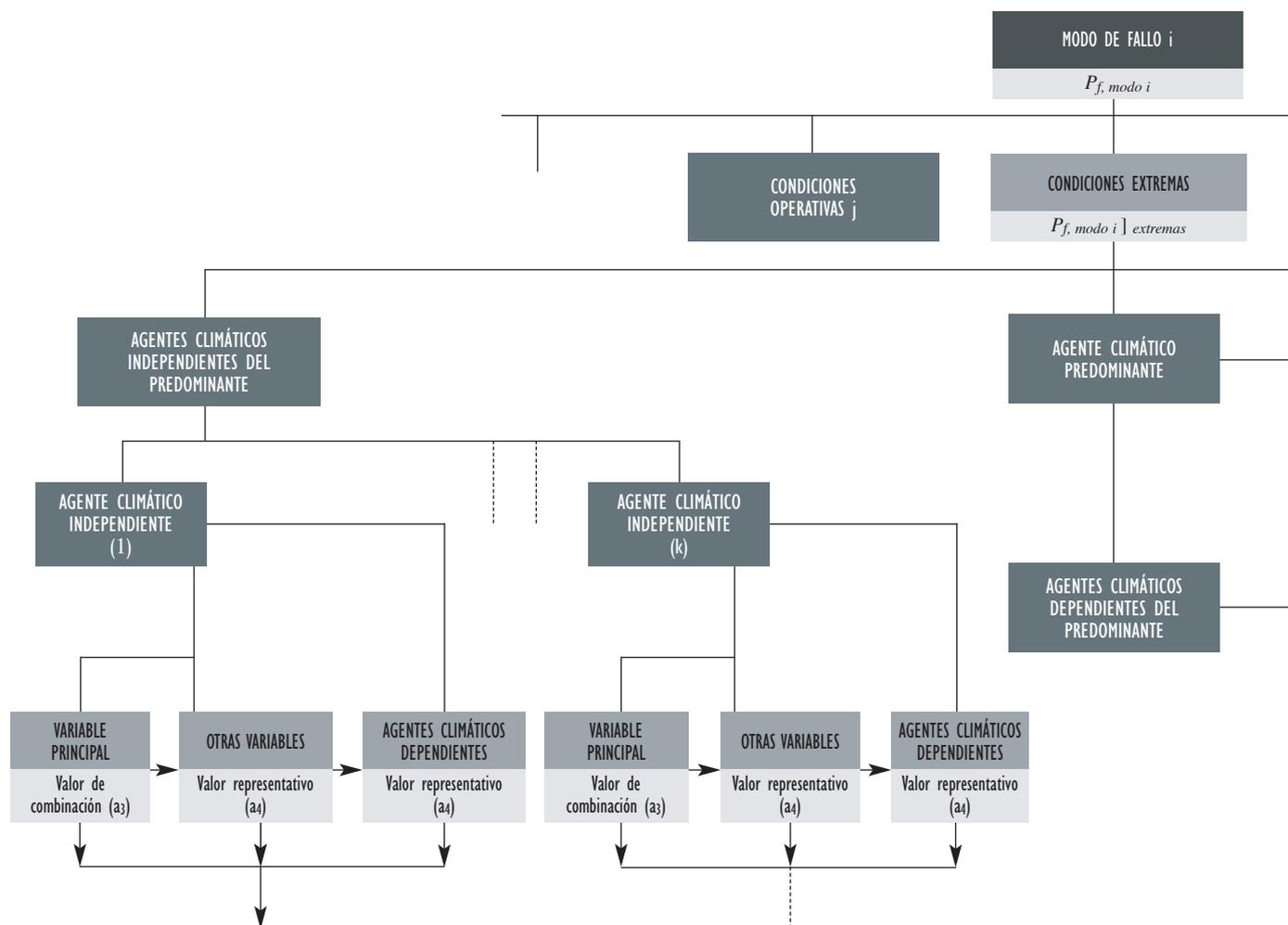
Esta condición de trabajo únicamente se tomará en consideración para el agente climático predominante para el modo de fallo, cuando la probabilidad de ocurrencia adjudicada al modo de fallo analizado tanto en estas condiciones excepcionales como en condiciones extremas durante la fase de servicio sea igual o menor a 0,05 y se utilice como valor representativo para la variable principal de dicho agente en condiciones extremas el correspondiente a un periodo de retorno de 50 años. ⁽⁶⁾

Para la verificación de esta condición se adoptarán los siguientes valores representativos:

- b₁₁) Para la variable principal del agente climático predominante en condiciones excepcionales, el correspondiente a un periodo de retorno (T_R) de 500 años, obtenido de la función de distribución de extremos marginal de dicha variable, en su caso, en la dirección considerada.
- b₁₂) Para las variables principales de los agentes climáticos de actuación simultánea independientes del predominante, el correspondiente a un periodo de retorno de 5 años, tomado en la función de distribución de extremos marginal de la variable, en la dirección considerada. Si la variable puede actuar en varias direcciones y se disponen de regímenes extremos direccionales, el valor representativo compatible asociado a un sector direccional i será igual al correspondiente al cuantil $(1-p/f(\alpha_i))$ del régimen direccional de extremos utilizado o a cero si dicho valor es negativo, siendo $f(\alpha_i)$ la frecuencia de presentación del sector direccional i , considerando únicamente las excedencias de los valores umbrales de la variable que definen las condiciones extremas y p la probabilidad de excedencia correspondiente al periodo de retorno de 5 años en la función extremal utilizada.

(6) Esta condición de trabajo se establece con el objeto de tomar en consideración que las acciones debidas al agente climático predominante para el modo de fallo responda a coeficientes de variación significativamente mayores de 0,2. Este coeficiente de variación, conjuntamente con considerar que la fiabilidad parcial de las acciones se corresponde con el 70% del total, son las hipótesis que normalmente se consideran implícitamente para la definición de los coeficientes de mayoración de las acciones debidas a dicho agente, incluidos en las fórmulas de verificación de los distintos modos de fallo mediante formulaciones semi-probabilistas, cuando se utiliza como valor representativo del mismo el definido en esta Recomendación ($T_R = 50$ años) para probabilidades de ocurrencia del modo $< 0,05$ (valores medios durante la vida útil). En los casos en que el coeficiente de variación de las acciones debidas al agente climático predominante sea mayor que 0,2, no incluir esta nueva condición de trabajo no nos garantizaría quedar del lado de la seguridad.

Tabla 4.1.1.2. Valores representativos compatibles de los agentes de actuación simultánea en condiciones Extremas (Combinación fundamental para modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos)

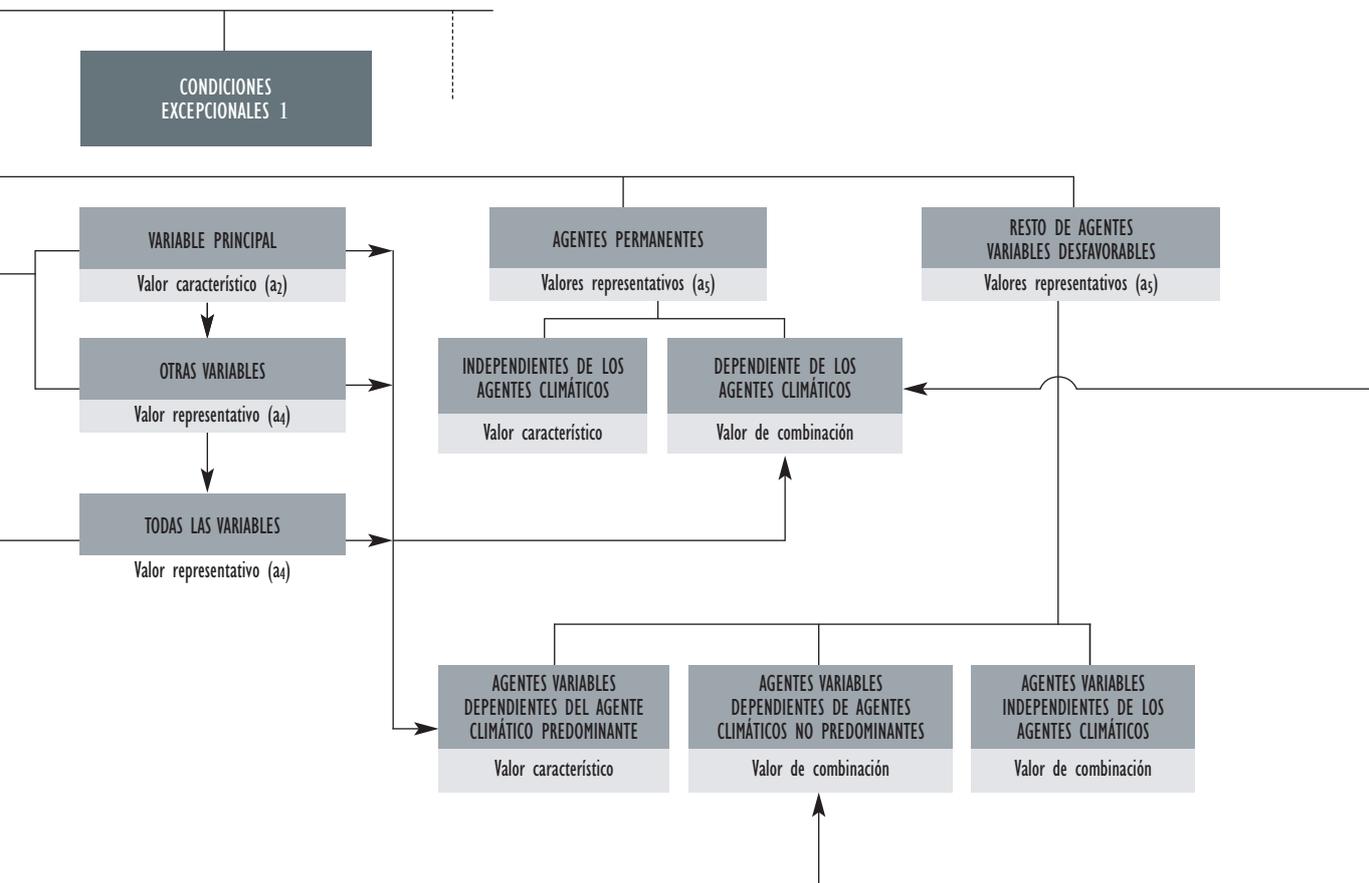


Nota

La definición de los diferentes valores representativos indicados en la tabla con las denominaciones a_2 , a_3 , a_4 , a_5 se incluyen en los subapartados de este apartado bajo idéntica denominación.

- b₁₃)** Los valores representativos compatibles del resto de variables del agente climático predominante o de los otros agentes climáticos independientes se obtendrán a partir de los valores representativos adoptados para la variable principal del agente con el que están correlacionados, adoptando el cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada condicionada a dicho valor y, en su caso, a la dirección de la variable principal, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada.
- b₁₄)** Los valores representativos del resto de agentes de actuación simultánea que sean relevantes en el emplazamiento serán:

- ◆ El valor característico para los agentes considerados de carácter permanente en el estado definido por el agente climático predominante en los que ningún agente climático tenga incidencia en su definición, así como para los agentes, desfavorables para el modo de fallo considerado, de carácter variable en dicho estado en los que el agente climático predominante tenga incidencia en la definición del mismo.
- ◆ El valor frecuente para los agentes considerados de carácter permanente o variable en dicho estado, desfavorables para el modo de fallo considerado, en los que algún agente cli-



mático distinto al predominante tiene incidencia en la definición de los mismos. Este valor frecuente se obtendrá considerando que la variable del agente climático que tiene incidencia en la definición del agente actúa con el valor representativo compatible con el adoptado para el agente climático predominante, de acuerdo con lo definido en este apartado.

- ◆ El valor cuasi-permanente para los agentes considerados de carácter variable en dicho estado que sean desfavorables para el modo de fallo considerado, en los que ningún agente climático tiene incidencia en la definición de los mismos. Los valores característicos, frecuentes y cuasi-permanentes de estos agentes para estas condiciones excepcionales se detallan en el apartado correspondiente a su definición (apartado 4.6. de esta Recomendación).

b₂) En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico

Esta condición de trabajo únicamente se tomará en consideración para la verificación de la obra durante la fase de servicio, no considerándose de aplicación a fases transitorias, excepto que lo requiera expresamente el Promotor de la instalación.

Para la verificación de esta condición se adoptarán los siguientes valores representativos:

b₂₁) Para la acción accidental:

- ◆ Si la acción accidental está definida mediante un valor nominal, se considerará este valor como su valor representativo.
- ◆ Si la acción accidental está definida mediante una función de distribución extremal:
 - El correspondiente a un periodo de retorno (T_R) de 500 años, obtenido de la función de distribución extremal, cuando la probabilidad de ocurrencia adjudicada al modo de fallo analizado en estas condiciones excepcionales durante la fase de servicio sea igual o menor a 0,05 y se disponga de ecuaciones de verificación del modo de fallo taradas con coeficientes de mayoración y seguridad que lleven a las citadas probabilidades de fallo utilizando este valor representativo.
 - El correspondiente a una probabilidad de excedencia en la fase de servicio igual a la probabilidad adjudicada al modo de fallo en estas condiciones excepcionales, cuando dicha probabilidad sea mayor de 0,05 o, siendo menor, no se disponga de una ecuación de verificación del modo de fallo tarada con los coeficientes de mayoración y seguridad que lleven a la probabilidad de fallo utilizando como valor representativo de la acción el correspondiente a un periodo de retorno de 500 años.

b₂₂) Para el resto de agentes de actuación simultánea que sean relevantes en el emplazamiento serán:

- ◆ El valor característico para los agentes considerados de carácter permanente en el estado definido por la acción accidental, en los que ningún agente climático tenga incidencia en su definición.
- ◆ Cuando se considere que el agente variable predominante en esta condición de trabajo para el modo de fallo analizado es un agente climático, se adoptará el valor frecuente para la variable principal de dicho agente, así como para los agentes considerados de carácter permanente o variable en dicho estado que sean desfavorables para el modo de fallo considerado, en los que el agente climático predominante u otros agentes climáticos dependientes del mismo tienen incidencia en la definición de los mismos. Para el resto de variables del agente climático predominante o para los agentes climáticos dependientes del predominante se adoptará como valor representativo el correspondiente al cuantil del 85% o del 15% (en función de cual es el más desfavorable) de la función de distribución de la variable correlacionada condicionada al valor representativo y , en su caso, dirección adoptados para la variable climática predominante. Para el resto de agentes variables, desfavorables para el modo de fallo considerado, independientes del agente climático predominante se adoptará el valor cuasi-permanente.
- ◆ Cuando se considere que el agente variable predominante en esta condición de trabajo para el modo de fallo analizado no es un agente climático se adoptará para el agente predominante su valor frecuente. Para el resto de agentes se adoptará el valor cuasi-permanente o, en su caso, los valores compatibles con éste para los agentes dependientes entre sí.

Los valores nominales, característicos, frecuentes y cuasi-permanentes de estos agentes para estas condiciones excepcionales se detallan en el apartado correspondientes a su definición (apartado 4.6 de esta Recomendación).

La combinación de los valores representativos compatibles de los agentes de actuación simultánea correspondientes a condiciones excepcionales debidas a la presentación de una acción climática extraordinaria o de una acción accidental constituye la combinación denominada excepcional o accidental.

b₃) En condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica

Para la verificación de esta condición se adoptarán los siguientes valores representativos:

b₃₁) Para la acción sísmica (sismo o maremoto):

- ◆ Para fase de servicio, cuando la probabilidad de ocurrencia adjudicada al modo de fallo analizado en estas condiciones durante esa fase sea menor o igual que 0,05, se adoptará el correspondiente a un periodo de retorno (T_R) de 50 años, obtenido de la función de distribución extremal para el caso de condiciones extremas y a un periodo de retorno (T_R) de 500 años para condiciones excepcionales, siempre que se disponga de ecuaciones de verificación del modo de fallo taradas con coeficientes de mayoración y seguridad que lleven a las citadas probabilidades de fallo utilizando estos valores representativos. Siempre que se den las condiciones anteriores, para fases transitorias se adoptará el correspondiente a un periodo de retorno del mismo orden de magnitud que la duración de la fase para las fases transitorias prolongadas en relación con la duración de la fase de servicio y el doble de dicho valor para los casos de transitoriedad menos prolongada, con un valor mínimo de 2 años.
- ◆ Cuando la probabilidad de ocurrencia adjudicada al modo de fallo analizado en estas condiciones durante la fase considerada sea mayor que 0,05, se adoptará el valor correspondiente a una probabilidad de excedencia en la fase igual a la probabilidad adjudicada al modo de fallo en las condiciones analizadas. Aún cuando la probabilidad de ocurrencia adjudicada al modo de fallo analizado en estas condiciones sea igual o menor que 0,05 pero no se disponga de ecuaciones de verificación taradas con los coeficientes de mayoración y seguridad que lleven a la probabilidad de fallo utilizando como valores representativos los correspondientes a periodos de retorno de 50 y 500 años (para fase de servicio) o a periodos de retorno similares a la duración de la fase (para fases transitorias) es más fiable adoptar como valores representativos los asociados con el cuantil correspondiente a la probabilidad de excedencia adjudicada al modo de fallo en las condiciones de trabajo analizadas.

b₃₂) Los valores representativos del resto de agentes de actuación simultánea que sean relevantes en el emplazamiento serán:

- ◆ El valor característico para los agentes considerados de carácter permanente en el estado sísmico, en los que ningún agente climático tenga incidencia en su definición.
- ◆ Para el resto de los agentes que sean desfavorables para el modo de fallo considerado se adoptará el valor cuasi-permanente o, en su caso, los valores compatibles con éste para los agentes dependientes entre sí.

Los valores característicos y cuasi-permanentes de estos agentes para estas condiciones sísmicas extremas y excepcionales se detallan en el apartado correspondiente a su definición (apartado 4.6 de esta Recomendación).

Los valores representativos compatibles de los agentes de actuación simultánea que se deben considerar en condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica se resumen en la figura 4.1.1.3. La combinación de los valores representativos compatibles de los agentes de actuación simultánea correspondientes a condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica constituye la combinación denominada sísmica.

c) En condiciones operativas

En la verificación de un modo de fallo en condiciones de trabajo operativas asociadas a cada modo de parada se considera que el agente predominante en estas condiciones de trabajo es el agente de uso y explotación asociado a la operación considerada, definido directamente a través de su valor límite de operatividad o indirectamente a través de los valores del agente cuando actúan los valores umbrales de los agentes climáticos que provocan la parada operativa.

Las condiciones operativas se consideran generalmente para la verificación de la obra durante la fase de servicio, sin perjuicio de que el promotor de la instalación requiera expresamente la comproba-

ción de condiciones operativas durante fases transitorias como la entrada parcial en servicio, condiciones operativas post-extremas o condiciones operativas post-excepcionales (Ver ROM 0.0), así como durante las fases de construcción y reparación. En particular, si no están previstas en el proyecto condiciones operativas durante la fase de construcción, deberán verificarse condiciones operativas en esa fase si el procedimiento constructivo utilizado por el constructor somete a la obra a este tipo de condición.

Para la verificación de esta condición con criterio incondicional de no fallo o con probabilidades de fallo menores del 5% se adoptarán los siguientes valores representativos, siempre que se disponga de ecuaciones de verificación del modo de fallo taradas con coeficientes de mayoración y seguridad que lleven a las citadas probabilidades de fallo utilizando estos valores representativos:

c₁) Para la acción de uso y explotación predominante, la cual define el modo de parada:

- ◆ El valor límite de operatividad establecido.
- ◆ En el caso de que el valor límite de operatividad esté definido a través de una variable climática de la que depende este agente de uso y explotación, se adoptará con carácter general como valor umbral de la misma el más limitativo de entre los correspondientes a dicha variable climática en las diferentes causas de paralización asociadas con el modo de parada considerado en las que es predominante. Si la causa de paralización más desfavorable para el modo de fallo analizado no tiene como variable climática predominante aquella de la que depende el agente de uso y explotación, se adoptará para esta última su valor de compatibilidad con la variable climática predominante (valores c_2 y c_3) de dicha causas de paralización (Ver figura 4.1.1.4).

c₂) Para las variables principales de los agentes climáticos de actuación simultánea independientes de la variable climática predominante de la que depende el agente de uso y explotación que define el modo de parada operativa, que sean relevantes en el emplazamiento:

- ◆ El valor de compatibilidad será el valor cuasi-permanente; es decir el correspondiente a una probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio, sin superar, en su caso, los límites de operatividad que pudieran estar establecidos individualmente para dichos agentes en el modo de parada y en el sector direccional considerado. En el caso de que la variable independiente de la variable climática predominante actúe básicamente en un sector direccional, la dirección no sea una variable de estado del mismo o no se disponga de regímenes medios direccionales, la probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio se corresponderá con el cuantil del 50% en el régimen medio. Si puede actuar en varias direcciones y se disponen de regímenes medios direccionales, el valor de compatibilidad asociado a un sector direccional α_i será igual al correspondiente al cuantil $[1-0,50/f(\alpha_i)]$ del régimen medio direccional o a cero si dicho valor es negativo, siendo $f(\alpha_i)$ la frecuencia de presentación del sector direccional i .

c₃) Para las variables de los agentes climáticos dependientes de las que provocan la parada operativa o de las variables de los agentes climáticos independientes de éstos:

- ◆ El valor de compatibilidad será el correspondiente al cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada condicionada al valor y , en su caso, la dirección adoptados para la variable de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada.

c₄) Para el resto de agentes de actuación simultánea que sean relevantes en el emplazamiento:

- ◆ El valor característico para los agentes considerados de carácter permanente en el estado definido por el agente climático que provoca la parada operativa, en los que ningún agente climático tenga incidencia en su definición.

- ◆ Para el resto de agentes desfavorables para el modo de fallo considerado se adoptará el valor de combinación. Para la definición del valor de combinación se considerará, en su caso, que las variables de los agentes climáticos que, en su caso, tienen incidencia en el mismo actúan con los valores representativos adoptados para los mismos en estas condiciones, de acuerdo con lo definido en este apartado.

Los agentes de uso y explotación predominantes que definen cada modo de parada, las causas de paralización asociadas al modo, así como los valores límite de operatividad y los valores de combinación de estos agentes se detallan en el apartado correspondiente a su definición (apartado 4.6. de esta Recomendación).

Los valores representativos compatibles de los agentes de actuación simultánea que se deben considerar en condiciones operativas se resumen en la figura 4.1.1.4. La combinación de los valores compatibles de los agentes de actuación simultánea correspondientes a condiciones operativas constituye la combinación denominada poco frecuente o fundamental operativa.

4.1.1.2. Verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio

Para las obras de atraque y amarre se verificará que la probabilidad de ocurrencia de cada modo de fallo (*i*) adscrito a estados límite de servicio en la fase de proyecto considerada es menor o igual que la probabilidad de fallo asignada a dicho modo en el correspondiente diagrama de fallo (Ver apartados 2.5.3. y 2.5.4. de la ROM 1.0 y 3.4.4 de esta Recomendación).

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación aplicable para dicha verificación en cada condición de trabajo sea la combinación poco probable o fundamental, la accidental o la sísmica, será de aplicación lo dispuesto en el apartado 4.1.1.1 para los modos de fallo adscritos a estados límite últimos tanto en lo que respecta a la distribución de probabilidades entre las distintas condiciones de trabajo como a la simultaneidad y valores compatibles de los agentes que definen los estados límites de proyecto.

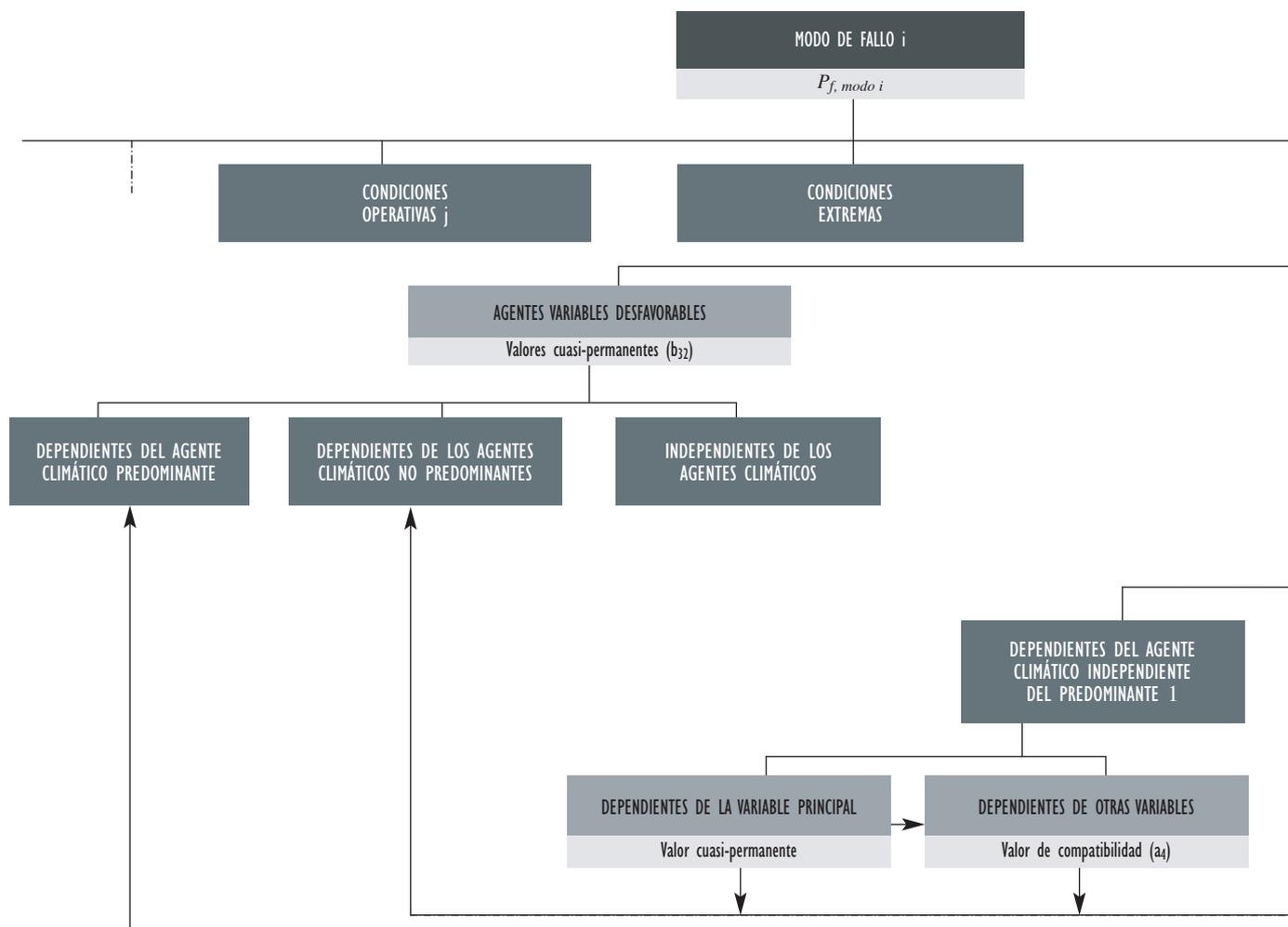
Los modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación aplicable en la ecuación de verificación sea la frecuente o cuasi-permanente (Ver ROM 0.0), en general, salvo que se señale expresamente lo contrario, se considerará que el cumplimiento de la misma está asociado al criterio incondicional de no fallo funcional o de servicio ($p_f < 0,07$). Para estos casos, la simultaneidad y valores representativos compatibles de los agentes que definen los estados límite de proyecto serán equivalentes para la combinación frecuente a los definidos para estados límite últimos en condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental (apartado 4.1.1.1. b_2), no considerando la actuación de la acción accidental. Para la combinación cuasi-permanente serán equivalentes a los definidos para estados límite últimos en condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica (apartado 4.1.1.1. b_3), no considerando la actuación de la acción sísmica.

4.1.1.3. Verificación de modos de parada operativa

Para las obras de atraque y amarre se verificará que la probabilidad de parada conjunta en la fase de proyecto considerada, así como la contribución a la misma de cada modo (*i*) de parada (causa de paralización) son, respectivamente, menores o iguales a la probabilidad conjunta de parada exigida en el proyecto (Ver apartado 3.4) y a las asignadas a cada modo en el correspondiente diagrama de paradas, definido en función de los criterios y condiciones de explotación considerados para cumplir los niveles de calidad del servicio establecidos por su Promotor.

Los criterios y condiciones de explotación considerados para definir el citado diagrama, la contribución de cada modo a la probabilidad de parada conjunta y los valores límite de operatividad de los agentes climáticos para cada causa de paralización que afecta a las obras de atraque y amarre deberán cumplir como mínimo los siguientes requerimientos:

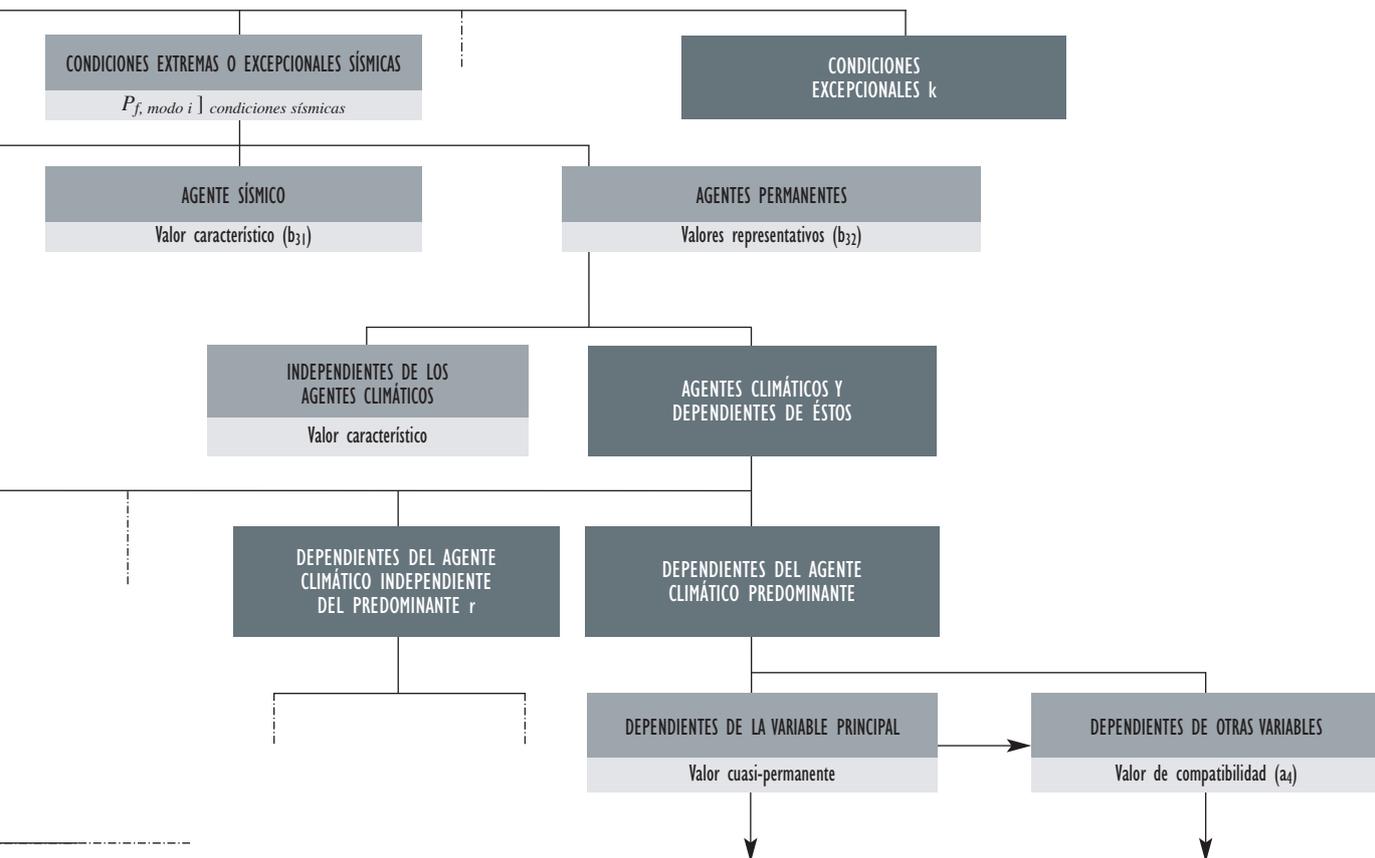
Tabla 4.1.1.3. Valores representativos compatibles de los agentes de actuación simultánea en condiciones Extremas o Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (Combinación fundamental para modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos)



Nota

La definición de los diferentes valores representativos indicados en la tabla con las denominaciones b_{31} , b_{32} y a_4 se incluyen en los subapartados de este apartado bajo idéntica denominación.

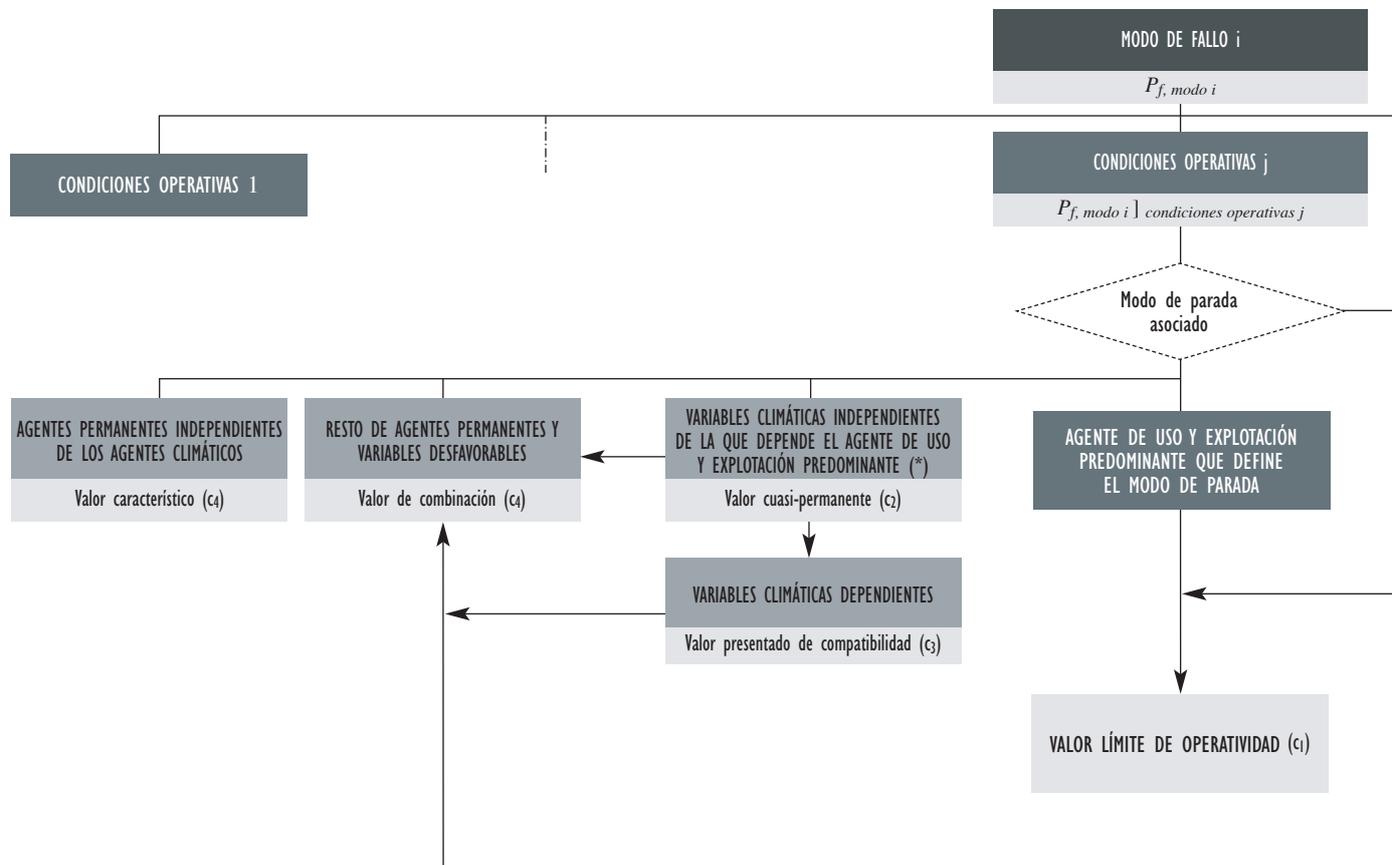
- ◆ Las condiciones de parada correspondientes a la accesibilidad de los buques a la instalación de atraque suelen estar asociadas a valores de los agentes climáticos en general menos limitativos (umbrales de operatividad mayores) que los correspondientes a las operaciones de atraque, aunque se recomienda que se consideren para la paralización de las operaciones de atraque los valores que correspondan en el emplazamiento a los que producen la suspensión de la accesibilidad marítima, ya que es conveniente que un buque pueda atracar siempre que pueda acceder a la instalación para no aumentar innecesariamente los tiempos de espera y, por tanto reducir su nivel de servicio. La excepción a esta recomendación se produce cuando las condiciones de parada adoptadas para alguna de las causas de suspensión de la permanencia del buque en el atraque dependientes de estos agentes sean por cualquier razón más limitativas que las de accesibilidad marítima. Es decir, excepto que se produzca esta última circunstancia, se considerará que estos dos modos de parada se producen simultáneamente para las causas de paralización dependientes de estos agentes, computándose una única vez su contribución a la probabilidad conjunta.
- ◆ Las condiciones de parada correspondientes a la permanencia de los buques en el atraque deben ser producidas por valores iguales o menos limitativos de los agentes climáticos que las correspondientes a las



operaciones de atraque, ya que un buque debe poder permanecer en el atraque siempre que pueda atracar en el mismo. En el caso de que alguna de las condiciones de parada dependientes de estos agentes asociadas a la permanencia del buque en el atraque sean más limitativas que las de accesibilidad marítima, se considerará que los modos de parada operación de atraque y permanencia en el mismo se producen simultáneamente con los mismos valores de los agentes climáticos para las causas de paralización dependientes de dichos agentes, computándose una única vez su contribución a la probabilidad conjunta.

- ◆ Las condiciones de parada correspondientes a la permanencia de los buques en el atraque deben ser producidas por valores iguales o menos limitativos de los agentes climáticos que las correspondientes a las operaciones de atraque, ya que un buque debe poder permanecer en el atraque siempre que pueda atracar en el mismo. En el caso de que las condiciones de parada dependientes de estos agentes asociadas a la permanencia del buque en el atraque sean más limitativas que las de accesibilidad marítima, se considerará que los modos de parada operación de atraque y permanencia en el mismo se producen simultáneamente con los mismos valores de los agentes climáticos para las causas de paralización dependientes de dichos agentes, computándose una única vez su contribución a la probabilidad conjunta.

Tabla 4.1.1.4. Valores representativos compatibles de los agentes de actuación simultánea en condiciones Operativas (Combinación fundamental para modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos)



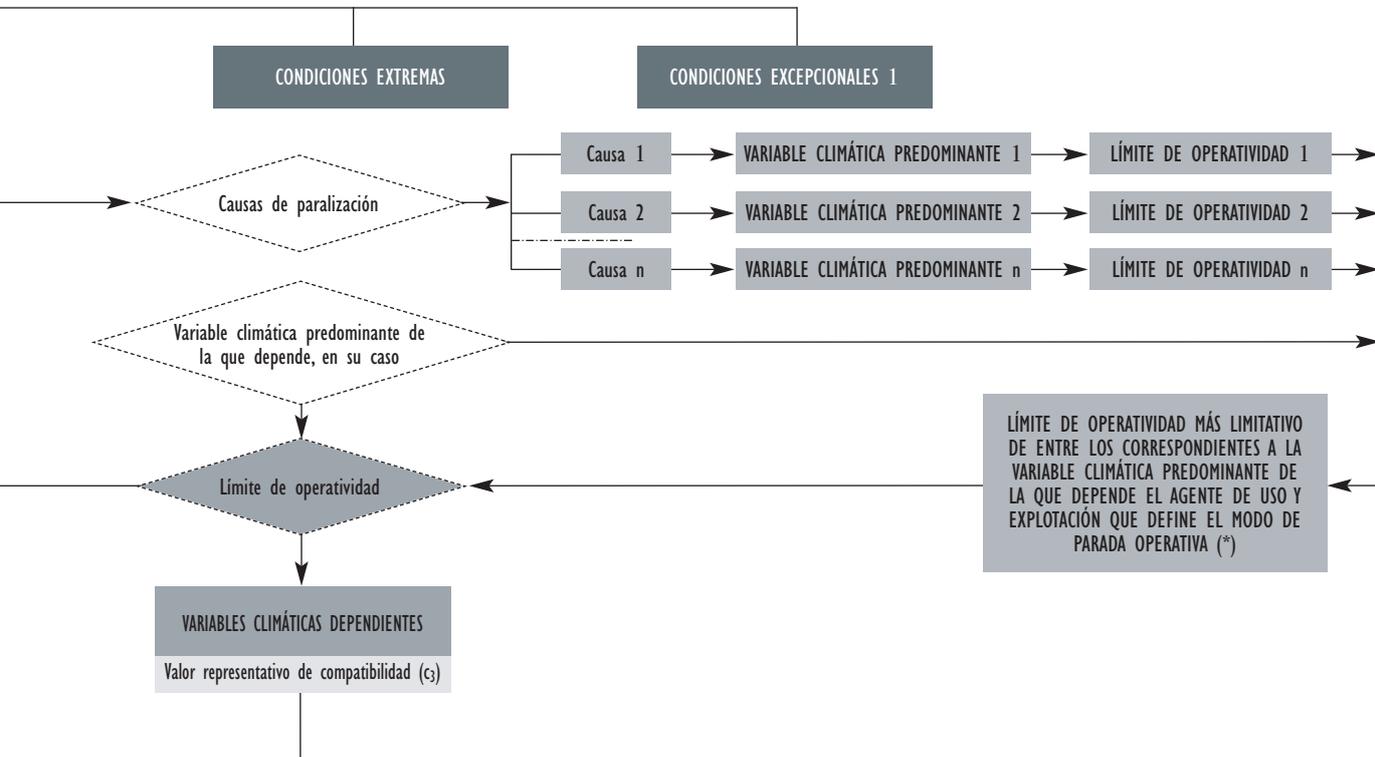
Nota

La definición de los diferentes valores representativos indicados en la tabla con las denominaciones c_1 , c_2 , c_3 y c_4 , se incluyen en los subapartados de este apartado bajo idéntica denominación.

(*) Si la causa de paralización más desfavorable para el modo de fallo analizado no tiene como variable climática predominante aquella de la que depende el agente de uso y explotación, se adoptará para esta última su valor de compatibilidad con la variable climática predominante de la causa de paralización (c_2 y c_3). En el caso de que la variable climática predominante de la causa de paralización más desfavorable para el modo de fallo sea independiente de la que depende el agente de uso y explotación que define el modo de parada, el valor representativo de dicha variable será el correspondiente al límite de operatividad de la misma.

- ◆ Si, por razones económicas asociadas con el coste de primer establecimiento y/o mantenimiento de los accesos marítimos a la instalación de atraque, se adoptan condiciones de parada para la accesibilidad de los buques a la instalación asociadas a valores de los agentes climáticos más limitativos que los de la permanencia de los buques en el atraque, por condiciones de seguridad deberá verificarse que la permanencia de los buques en el atraque no tiene limitada la operatividad dependiente de esos agentes (7).
- ◆ En el caso de que el atraque sea de uso comercial para mercancías peligrosas, deberá considerarse que las condiciones de parada correspondientes a la accesibilidad del buque a la instalación de atraque son menos limitativas que las de permanencia de los buques en el atraque, ya que un buque que transporta este tipo de mercancías debe poder dejar el atraque en cualquier momento por razones de seguridad.

(7) Un ejemplo de esta circunstancia es cuando la accesibilidad a una instalación de atraque está condicionada por limitaciones de calado y las operaciones de acceso y atraque son posibles únicamente mientras el nivel de las aguas se mantiene por encima de un nivel o "ventana" de marea (Ver ROM 3.1-99), pero se garantiza la permanencia del buque en el puesto de atraque por razones de calado en todo momento por medio de una fosa o zanja de dragado con objeto de aumentar la operatividad de la instalación en lo que respecta a la realización de las operaciones de carga y descarga.



En este caso es recomendable considerar que estos tres modos de parada se producen simultáneamente para los mismos valores de los agentes climáticos, computándose una única vez su contribución a la probabilidad conjunta.

- ◆ Las condiciones de parada correspondientes a la permanencia de buques en el atraque deben ser producidas por valores menos limitativos de los agentes climáticos que las correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga de mercancías o embarque y desembarque de pasajeros con buque atracado, ya que un buque debe poder permanecer en el atraque cuando se paralizan las operaciones de carga y descarga de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros debido a dichos agentes.
- ◆ Teniendo en cuenta la simultaneidad que se produce entre causas de suspensión o paralización adscritas a los diferentes grupos de paradas operativas, generalmente los modos de parada (causas de suspensión o de paralización de las operaciones) a los que se debe asignar las mayores probabilidades de parada son algunos de los modos de parada correspondientes a la paralización de las operaciones de carga y descarga, ya que no es conveniente que un buque deba suspender su permanencia en el atraque sin

que previamente se haya producido una causa de paralización de las operaciones de carga y descarga. Asimismo, un buque debe poder permanecer en el atraque siempre que pueda acceder y atracar en el mismo. Particularmente, de entre las causas de paralización de las operaciones de carga y descarga o de embarque y desembarque de pasajeros es conveniente asignar las mayores probabilidades de parada a la paralización por incompatibilidad de movimientos del buque atracado con las operaciones de carga y descarga o de embarque y desembarque de pasajeros y a la paralización por razones de seguridad de los equipos de manipulación o de embarque y desembarque de pasajeros, así como de la operativa de los mismos, asociadas con aspectos resistentes funcionales o ambientales, dependiendo en este último caso de las condiciones climáticas locales en el emplazamiento, particularmente de las probabilidades de presentación de los límites de operatividad de los equipos asociados a la velocidad del viento. Sin perjuicio de lo anterior, en algunos casos criterios de optimización económica pueden aconsejar independizar la suspensión de la permanencia del buque en el atraque de la suspensión de la accesibilidad marítima. En estos casos, a alguno de los modos de parada del grupo correspondiente a la suspensión de la accesibilidad marítima podrá ser conveniente asignarles probabilidades de parada del mismo orden de magnitud que la probabilidad de parada conjunta.

De acuerdo con estos criterios mínimos de explotación, para la verificación de la probabilidad de parada operativa de la instalación portuaria de atraque será suficiente considerar como máximo la contribución de los modos de parada (causas de paralización) más limitativos correspondientes a la accesibilidad de los buques a la instalación de atraque, a la permanencia de los buques en el atraque y a la realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, ya que los correspondientes a las operaciones de atraque se produce simultáneamente, bien con los modos de parada correspondientes a la accesibilidad o bien con los de permanencia en el atraque.

En la figura 4.1.1.5 se incluye un ejemplo sintético, sin considerar componente direccional de las variables, de diagrama de parada operativa, aplicando los citados criterios mínimos de explotación a un atraque de uso comercial para mercancía general no peligrosa con manipulación de mercancías mediante sistemas discontinuos por elevación, considerando condiciones de permanencia en el atraque menos limitativas que las condiciones de accesibilidad del buque al puesto de atraque, así como la simultaneidad de las causas de paralización.

Una vez definidos, en magnitud y dirección, los valores umbral de las variables de los agentes atmosféricos y climáticos marinos y de los agentes operativos que limitan la operatividad de la instalación de atraque para cada uno de los buques esperables en el mismo, tomando en consideración todas las causas de paralización, la probabilidad conjunta de parada operativa se obtendrá calculando la probabilidad absoluta de excedencia en el emplazamiento en el año medio de los umbrales de operatividad más restrictivos de las variables de los agentes climáticos en cada una de las direcciones, tomando en consideración todos los modos de parada (causas de paralización) y todos los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque.

La probabilidad de parada conjunta será la suma de las probabilidades absolutas de excedencia en el año medio de los umbrales de operatividad en cada dirección correspondientes a cada una de las variables predominantes independientes entre sí que limitan la operatividad de la instalación de atraque, así como de las probabilidades de excedencia del valor umbral de operatividad adoptado para cada una de las variables dependientes en cada dirección, obtenidas considerando los regímenes medios de las mismas condicionados a la no superación del valor umbral en cada dirección de la variable de la que dependen.

En el caso de que varias variables que limitan la operatividad sean dependientes entre sí se adoptará como predominante aquélla que considerando los umbrales de operatividad en todas las direcciones tiene mayor probabilidad de excedencia en el emplazamiento.

Es decir:

$$P_{\text{parada conjunta}} \leq P_{\text{excedencia valores umbrales operatividad variable independiente 1}} + \dots + P_{\text{excedencia valores umbrales operatividad variable independiente n}} + P_{\text{excedencia valores umbrales operatividad variable dependiente 1 condicionada a la no superación de los valores umbrales de operatividad de la variable de la que depende}} + \dots + P_{\text{excedencia valores umbrales operatividad variable dependiente j condicionada a la no superación de los valores umbrales de operatividad de la variable de la que depende}}$$

Con carácter general, considerando la componente direccional:

$$P_{parada\ conjunta} \leq \sum_{i=1}^N \left\{ \left[1 - P'(X_{10,i}) \right] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \dots + \sum_{i=1}^N \left\{ \left[1 - P'(X_{n0,i}) \right] \cdot f(\alpha_i) \right\} +$$

$$+ \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \left\{ \left[1 - P''_{X_j,0,k}(Y_{1|X_j,0,i}) \right] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \dots + \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \left\{ \left[1 - P''_{X_j,0,k}(Y_{r|X_j,0,i}) \right] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \dots +$$

$$+ \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \left\{ \left[1 - P''_{X_t,0,k}(Y_{1|X_t,0,i}) \right] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \dots + \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \left\{ \left[1 - P''_{X_t,0,k}(Y_{u|X_t,0,i}) \right] \cdot f(\alpha_i) \right\}$$

Siendo:

- $X_{10,i}$: umbral de operatividad de la variable independiente 1, correspondiente al sector direccional i .
- $X_{n0,i}$: umbral de operatividad de la variable independiente n , correspondiente al sector direccional i .
- $P'(X_{10,i})$: probabilidad condicional de no excedencia del umbral de operatividad de la variable independiente X_1 , correspondiente al sector direccional i (equivale a la obtenida en el régimen medio direccional marginal de la variable).
- $P'(X_{n0,i})$: probabilidad condicional de no excedencia del umbral de operatividad de la variable independiente X_n , correspondiente al sector direccional i (equivale a la obtenida en el régimen medio direccional de la variable).
- $f(\alpha_i)$: probabilidad de presentación del sector direccional i .
- $Y_{1|X_j,0,i}$: umbral de operatividad de la variable dependiente 1 de la variable independiente X_j , correspondiente al sector direccional i .
- $Y_{r|X_j,0,i}$: umbral de operatividad de la variable dependiente r de la variable independiente X_j , correspondiente al sector direccional i .
- $Y_{1|X_t,0,i}$: umbral de operatividad de la variable dependiente 1 de la variable independiente X_t , correspondiente al sector direccional i .
- $Y_{r|X_t,0,i}$: umbral de operatividad de la variable dependiente r de la variable independiente X_t , correspondiente al sector direccional i .
- $P''_{X_j,0,k}(Y_{1|X_j,0,i})$: probabilidad de no excedencia del umbral de operatividad de la variable dependiente 1 de la variable X_j , correspondiente al sector direccional i , condicionada a la no superación del valor umbral de operatividad de la variable independiente X_j en la dirección k .⁽⁸⁾
- $P''_{X_j,0,k}(Y_{r|X_j,0,i})$: probabilidad de no excedencia del umbral de operatividad de la variable dependiente r de la variable X_j , correspondiente al sector direccional i , condicionada a la no superación del valor umbral de operatividad de la variable independiente X_j en la dirección k .
- $P''_{X_t,0,k}(Y_{1|X_t,0,i})$: probabilidad de no excedencia del umbral de operatividad de la variable dependiente 1 de la variable X_t , correspondiente al sector direccional i , condicionada a la no superación del valor umbral de operatividad de la variable independiente X_t en la dirección k .
- $P''_{X_t,0,k}(Y_{u|X_t,0,i})$: probabilidad de no excedencia del umbral de operatividad de la variable dependiente u de la variable X_t , correspondiente al sector direccional i , condicionada a la no superación del valor umbral de operatividad de la variable independiente X_t en la dirección k .

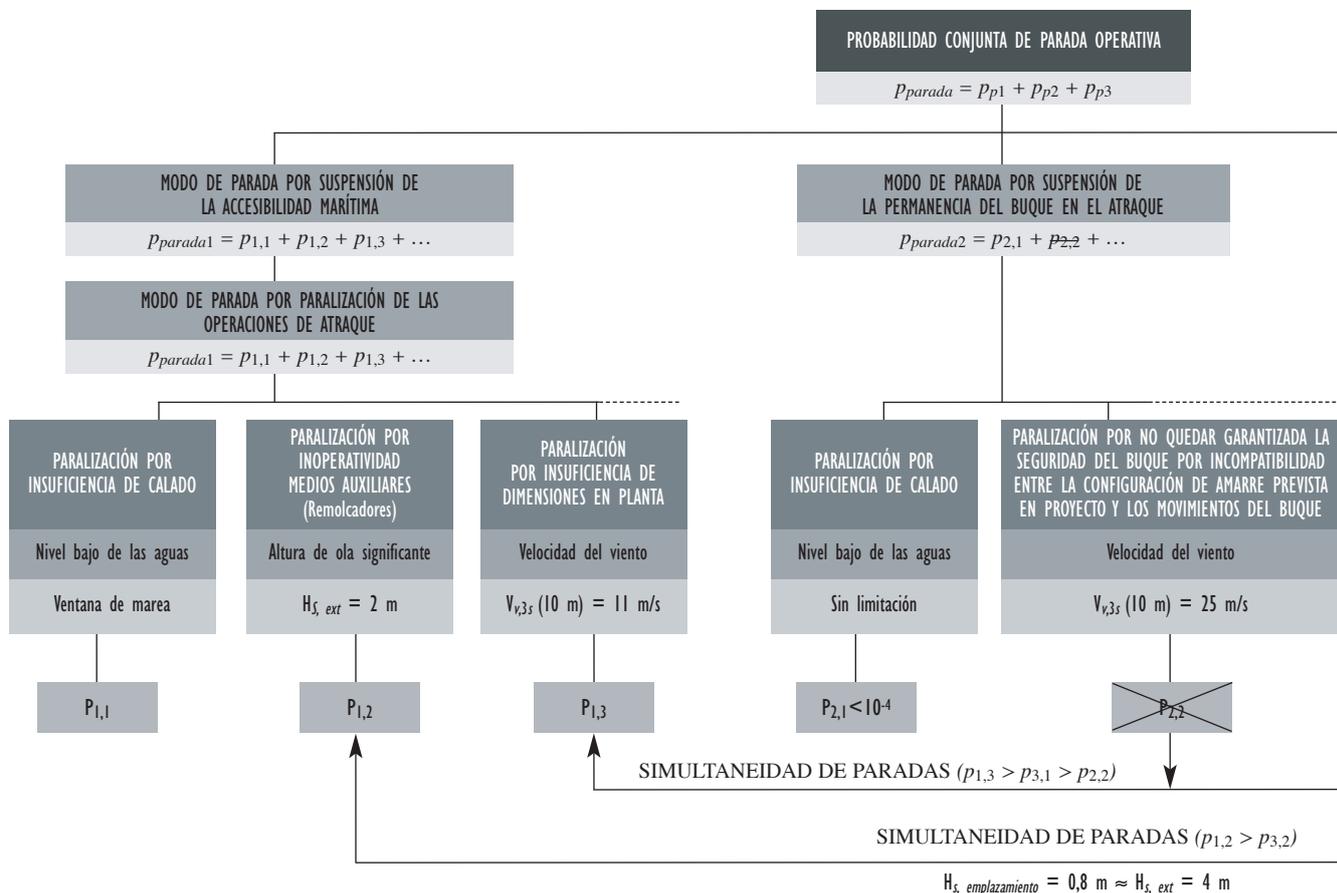
En el caso de que pueda considerarse o que, del lado de la seguridad, se considere que todas las variables que limitan la operatividad son independientes entre sí, la formulación anterior se simplifica:

$$P_{parada\ conjunta} \leq \sum_{i=1}^N \left\{ \left[1 - P'(X_{10,i}) \right] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \dots + \sum_{i=1}^N \left\{ \left[1 - P'(X_{n0,i}) \right] \cdot f(\alpha_i) \right\}$$

Si adicionalmente, los valores umbrales de las variables que limitan la operatividad de la instalación de atraque no se diferencian según sectores direccionales:

(8) Las probabilidades de no excedencia del valor umbral de una variable dependiente, condicionadas a la no superación de un valor de la variable de que dependen, puede obtenerse fácilmente a partir de la función de densidad conjunta de las variables dependientes ente sí.

Tabla 4.1.1.5. Ejemplo de diagrama de Parada operativa de una instalación de atraque (Atraque de uso comercial para mercancía general no peligrosa con manipulación de mercancías mediante sistemas discontinuos de elevación, emplazado en un área interior o abrigada respecto al oleaje y no adosado a una obra de abrigo. Para condiciones de permanencia en el atraque menos limitativas que las condiciones de accesibilidad del buque al puesto de atraque)



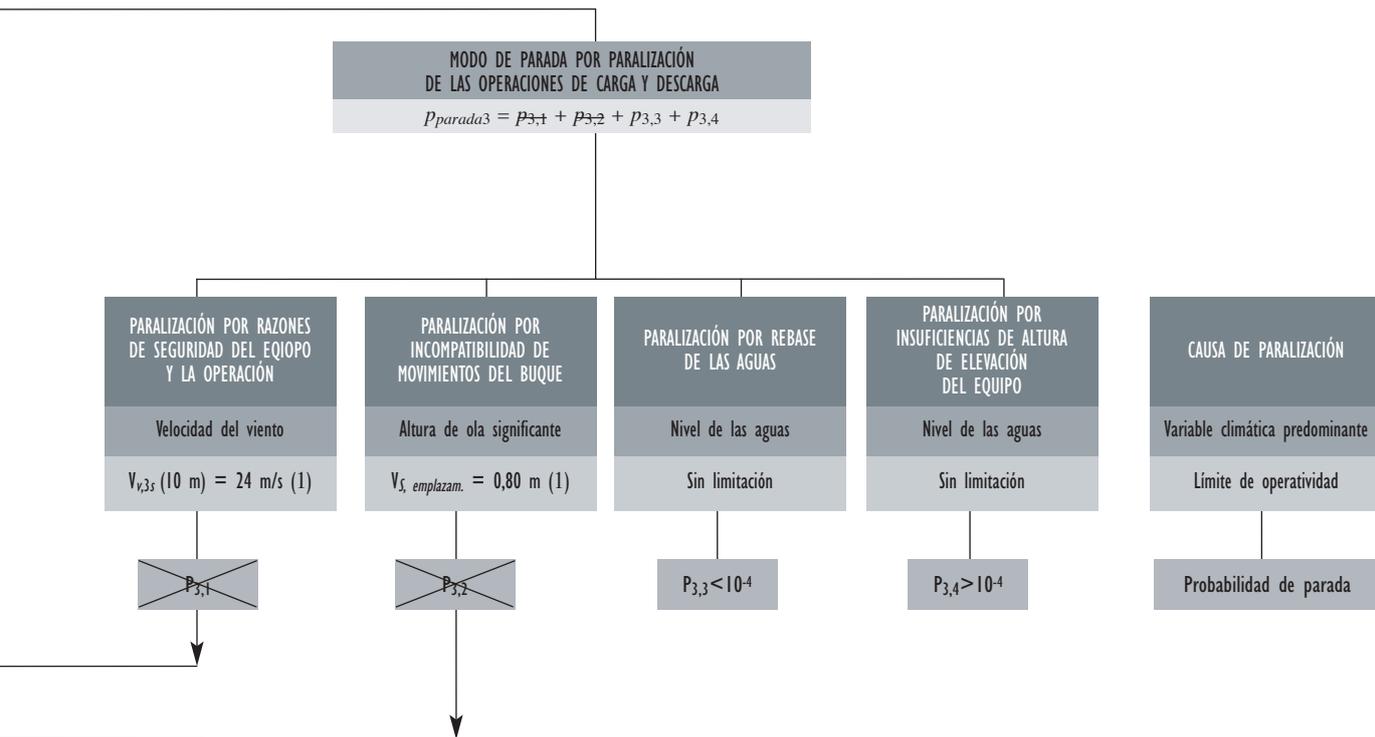
Nota

(1) Simplemente, se ha considerado que la ubicación de la obra de atraque permite admitir que las variables climáticas son independientes entre sí.

$$P_{parada\ conjunta} \leq [1 - P(X_{10})] + \dots + [1 - P(X_{n0})]$$

Siendo $P(X_{n0})$ la probabilidad de no excedencia del nivel X_{n0} , obtenida del régimen medio escalar de la variable X_n .

En el caso de que los valores de operatividad obtenidos no cumplieran con los niveles de operatividad mínimos requeridos inicialmente, deberá modificarse la configuración y características adoptadas inicialmente para el sistema de amarre y defensas, debiéndose obtener los nuevos valores umbrales de operatividad de cada una de las variables actuantes asociados con dicha nueva configuración, reiterándose el proceso hasta alcanzar los niveles de operatividad requeridos. En algunos emplazamientos, los objetivos de operatividad establecidos inicialmente pueden no ser alcanzables por mucho que se modifique la configuración y características del sistema de amarre y defensas. En estos casos deberán reducirse los niveles de operatividad respecto de los establecidos inicialmente, siempre y cuando cumplan con los niveles mínimos exigidos para la instalación de atraque por esta Recomendación.



Las causas de paralización asociadas a cada uno de los modos de parada se desarrollan en los apartados de esta Recomendación correspondientes a la definición de los agentes de uso y explotación predominantes en cada modo. Es decir, para el modo de parada “realización de las operaciones de carga y descarga de embarque de mercancías o embarque y desembarque de pasajeros con buque atracado” en el apartado 4.6.4.2, para el modo de parada “operaciones de atraque de buques” en el apartado 4.6.4.4.3 y para el modo de parada “permanencia de buques en el atraque” en el apartado 4.6.4.4.7. Las causas de paralización asociadas al modo de parada “accesibilidad marítima” se desarrollan en la ROM 3.1-99.

4.1.2. Para métodos de Niveles II y III

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación podrán definirse los agentes por sus variables de estado o bien, dependiendo de la ecuación de verificación utilizada y de forma mucho más precisa, considerando, si es posible, además la variabilidad en cada estado de las variables básicas correspondientes a cada agente.

La verificación de la obra mediante métodos probabilísticos puede realizarse del lado de la seguridad modo a modo, comprobando que la probabilidad de ocurrencia del mismo en la fase de proyecto considerada es menor o igual que la probabilidad de fallo o parada asignada a dicho modo en el correspondiente diagrama de fallo o parada de acuerdo con los criterios establecidos en esta Recomendación sobre el reparto de la probabilidad idóneo para la optimización económica de la obra, o bien de forma conjunta considerando simultáneamente todos los modos principales y comprobando que la probabilidad conjunta de fallo o parada es menor o igual que la asignada al conjunto de la obra. Esta última opción es mucho más precisa al poder tomar en consideración la posibilidad de que varios modos de fallo o parada principales no sean en realidad excluyentes y puedan producirse simultáneamente. Además tiene la ventaja de no ser necesario establecer previamente los criterios para la distribución de la probabilidad de fallo o parada entre los distintos modos principales a la hora de comprobar una alternativa, aunque por dicha razón se complica más el proceso para la toma de decisiones sobre cual es la más conveniente para el proyecto de inversión. Con este último procedimiento, con objeto de simplificar los cálculos, es recomendable que los modos no principales se verifiquen individualmente a criterio incondicional de no fallo mediante métodos de Nivel I, no considerando su contribución a la probabilidad conjunta de fallo.

Para los métodos de Nivel II ó III no se definen específicamente estados límite de proyecto. En este caso los estados límite son un resultado del método.

No obstante, para evitar un número excesivo de comprobaciones, para cada fase o subfase de proyecto, se recomienda diferenciar la verificación de la ocurrencia de cada uno de los modos adscritos a estados límite últimos y de servicio o de la totalidad de los mismos sucesivamente para condiciones de trabajo operativas, para condiciones extremas y para condiciones excepcionales, ya que son excluyentes.

Comentario: Se recuerda que en los métodos de Nivel II ó III no es necesario definir específicamente los estados límites ya que la verificación de cada modo de fallo no se realiza únicamente en estados o situaciones límite asociados con una determinada probabilidad de fallo o parada, sino en todos y cada uno de los estados que se presentan a lo largo de la duración de la fase o subfase de proyecto analizada, obteniéndose la probabilidad de fallo o parada mediante la integración de la función de densidad conjunta de los factores de proyecto que intervienen en cada modo de fallo o parada en el dominio de fallo o parada definido por la ecuación de verificación. Dicha integral puede ser resuelta bien por integración directa (raramente posible), bien por simulación numérica (p.e. simulación de Monte Carlo (Nivel III), bien por transformación del integrando para trabajar con variables gaussianas independientes (Nivel II). Es decir, los métodos II y III son únicamente diferentes procedimientos matemáticos para la resolución de la citada integral (Ver ROM 0.0).

4.2 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS

En cada estado, los parámetros geométricos se considerarán de carácter permanente y se definirán a través de valores nominales, cualquiera que sea el formato de la ecuación de verificación utilizado.

4.2.1. Geometría de la obra de atraque y amarre

El valor nominal de los parámetros geométricos que definen las dimensiones de la obra y de cada uno de sus tramos en cada fase o subfase de proyecto es el fijado por el proyectista e incluido en los planos y se corresponde con su valor medio.

En el caso de que se admitan desviaciones de los parámetros geométricos (tolerancias) debidas al proceso constructivo o a la fabricación que puedan ser relevantes en el proceso de verificación, el valor nominal de los parámetros geométricos incluirá la tolerancia en más o en menos según sea desfavorable en la verificación. Las tolerancias admisibles deberán consignarse en los planos y en el Pliego de Prescripciones Técnicas. En el caso de que no se consignen se considerará que son nulas. En los apartados de esta Recomendación correspondientes a las distintas tipologías estructurales se incluyen las tolerancias usuales admisibles en las obras de atraque y amarre.

4.2.2. Geometría del terreno

Deberá disponerse de un modelo completo de configuración geométrica del terreno, tanto emergido como sumergido, en el emplazamiento de la obra, extendiéndose espacialmente hasta incluir todas las zonas que pudieran estar afectadas por los distintos modos de fallo o tener incidencia en la definición de los agentes o acciones de proyecto. Dicho modelo quedará definido por:

- ◆ Las cotas de la superficie del terreno.
- ◆ Las cotas de los niveles estratigráficos que definen los distintos tipos de terreno y sus contactos.

El valor nominal de las cotas de la superficie del terreno se obtendrá a partir de levantamientos topográficos y batimétricos específicos realizados recientemente en el emplazamiento de la obra, que permitan su representación de una forma suficientemente precisa y fiable para los cálculos y para el proceso constructivo. Dicho valor se corresponde, en general, con un valor medio. La descripción de las técnicas y métodos utilizados en este tipo de trabajos excede del ámbito de esta ROM. Con carácter general, se considera suficientemente preciso y fiable para este tipo de obras la realización de los levantamientos batimétricos con ecosondas adaptadas a la profundidad y naturaleza del terreno en conjunción con sistemas electrónicos de posicionamiento, con espaciamientos de perfiles entre 10 y 25 m en el emplazamiento de la obra de atraque (hasta 50 m si el fondo es aplacerado y regular), entre 20 y 50 m en las zonas más próximas y entre 50 y 100 m en las áreas correspondientes a los canales de navegación y áreas de maniobra, dependiendo de la irregularidad del fondo. En aquellas áreas cuya profundidad afecte a las condiciones de propagación del oleaje hasta la obra ($h < L/2$), cualquier cambio batimétrico ($\Delta h/L$) que tenga unas dimensiones horizontales $[b_x/L \geq 0,1]$ o $[b_y/L \geq 0,1]$ transforma las características del oleaje, por lo que en esos casos es recomendable espaciamientos de perfiles menores de $L/8$ ⁽⁹⁾. Las ecosondas convencionales (monohaz y frecuencia única baja entre 20 y 80 kHz) pueden dar errores importantes en áreas con suelos blandos, fangos o altas concentraciones de sedimentos en suspensión en superficie al no reflejar en dichas capas. En estas áreas es imprescindible la utilización de ecosondas de doble frecuencia (33 y 210 kHz) que permiten detectar la capa superior y el espesor de este tipo de sedimentos. A su vez en zonas con una alta irregularidad o con la posibilidad de existencia de obstáculos es recomendable utilizar otros sistemas más precisos como ecosondas multihaz. En cualquier caso, deberá indicarse siempre la precisión de los levantamientos.

En España, el nivel de referencia topográfico (NRT) es el nivel medio del mar en Alicante. El nivel de referencia de los levantamientos batimétricos (NRM, nivel de referencia marino), suele ser local, adoptándose el cero del puerto, la bajamar máxima o cualquier otro nivel de referencia. Para evitar confusiones se recomienda que tanto los levantamientos topográficos como los batimétricos se refieran a un mismo plano de referencia, el cual debe materializarse sobre el terreno para permitir replanteos y comprobaciones ulteriores y que dicho nivel de referencia sea el marino (NRM). A estos efectos se recomienda que se incluya en un plano general del proyecto un croquis con la definición relativa de estos niveles.

La cartografía oficial publicada de carácter general tanto topográfica como batimétrica puede ser útil para estudios previos, pero insuficiente para las fases de anteproyecto y proyecto constructivo, debido a escalas no adecuadas y a que puede no ser totalmente fiable por falta de actualización, sin recoger procesos de sedimentación, erosión, vertidos, ... que pueden haberse producido de forma reciente. Las escalas de levantamiento recomendadas para el proyecto y construcción de obras de atraque y amarre son 1:500, 1:1000 y 1:2000. No obstante, para la definición de los procesos de transformación de los agentes climáticos marinos son normalmente suficientes escalas del orden de 1:10.000 para las zonas con profundidades reducidas ($h < L/20$) y de hasta 1:50.000 para aquéllas con profundidades intermedias ($L/20 < h < L/2$). No obstante, si dichas zonas tienen una batimetría muy irregular o con presencia de bajos o cauces de dimensiones apreciables a estos efectos $[b/L \geq 0,1]$, la escala seleccionada deberá ser capaz de identificarlos.

Los valores de los parámetros geométricos de la superficie del terreno pueden estar sometidos a desviaciones causadas por imprecisiones en los levantamientos, tolerancias en la ejecución de los trabajos de dragado y

(9) Se adoptará como valor de L el correspondiente a longitud de onda asociada al periodo medio del oleaje en el estado de mar de proyecto más desfavorable a estos efectos.

variaciones en el tiempo debido a la existencia en el área de procesos morfológicos de sedimentación o erosión, bien naturales, bien causados por estructuras próximas o por la explotación portuaria, así como a asentamientos, los cuales deben ser investigados y cuantificados por el proyectista. En el caso de que estos procesos se puedan producir, el valor nominal de los parámetros geométricos incluirá el valor de dichas alteraciones cuando sean desfavorables para el proceso de verificación (Ver ROM 3.1-99).

Como caso particular, para la definición geométrica del calado en el atraque se considerará suficiente la aplicación del calado nominal o del de proyecto respectivamente en función del nivel que sea más desfavorable para la verificación de cada modo de fallo o parada analizado, siempre y cuando no se considere la posibilidad de que se presenten erosiones o socavaciones por debajo del calado de proyecto o sedimentaciones por encima del calado nominal. La definición de estos niveles se recoge en el apartado 3.2.2.2 de esta Recomendación. En el caso de que se considere la posibilidad de erosiones o socavaciones se deberá cuantificar el fenómeno y considerar niveles inferiores al calado de proyecto en función de dicha cuantificación. De igual forma, en el caso de que se considere la posibilidad de sedimentaciones se deberá igualmente cuantificar el fenómeno y considerar niveles superiores al calado nominal en función de dicha cuantificación.

Las cotas de los niveles estratigráficos que definen los distintos tipos de terreno y sus contactos serán las deducidas de los reconocimientos geológico-geotécnicos donde deben quedar claramente establecidos los distintos tipos de terreno y sus contactos. Los criterios de identificación de los diferentes terrenos, así como la intensidad y profundidad del reconocimiento geotécnico necesario para las obras de atraque y amarre para la fiabilidad y precisión de esta definición se recogen en la ROM 0.5-05 (Ver apartados 2.3, 2.7.2 y 2.12 a 2.14).

4.2.3. Niveles de las aguas

Al contrario que en la mayor parte de la ingeniería civil, en la ingeniería marítima y portuaria los niveles tanto de las aguas exteriores como de los niveles de saturación en terrenos naturales y rellenos suelen no considerarse, dada su variabilidad, como factores geométricos sino como un agente climático, no siendo en consecuencia de aplicación a los mismos las recomendaciones generales dadas en este apartado para el tratamiento de los parámetros geométricos. Por dicha razón su definición se desarrolla más ampliamente en el apartado de esta ROM correspondiente a los agentes climáticos (Ver apartado 4.6.2.1).

Por tanto, también a los efectos de la definición geométrica de la obra y del terreno, los niveles de las aguas libres exteriores y de los niveles de saturación en terrenos naturales y rellenos que se adopten serán los compatibles con los distintos ciclos de sollicitación de los agentes predominantes de los estados analizados.

4.3 DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL TERRENO

Una vez definido el comportamiento del suelo que corresponde a cada estado (Ver ROM 0.5-05 y apartado 4.6 de esta Recomendación), las propiedades del terreno, tanto si se trabaja en tensiones totales como efectivas, se considerarán de carácter permanente en dicho estado. En función del tipo de formulación de la ecuación de verificación, las propiedades del terreno se definirán:

4.3.1. Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas

Para las formulaciones determinista y determinista-probabilista de la ecuación de verificación, las propiedades del terreno que intervienen en la misma se definirán a través de valores nominales o representativos de cada capa homogénea del terreno.

Con carácter general se admitirá que el valor representativo de las propiedades del terreno es una *estimación prudente del valor medio* de los resultados obtenidos a través de una investigación geotécnica suficientemente fiable y precisa correspondiente a la zona de afección del modo de fallo considerado, salvo que por algún moti-

vo debidamente justificado, el proyectista decida optar por un valor más conservador. Tales excepciones suelen darse en aquellos casos en los que, por ejemplo, la información disponible no se considere suficiente para su tratamiento estadístico o se observe una gran dispersión de resultados. No obstante, cuando se disponga de una base estadística que permita la determinación de la función de distribución de un determinado parámetro geotécnico, su valor representativo será el valor característico o valor correspondiente al cuantil de la probabilidad de no excedencia del 5% o del 95% según resulte más desfavorable para los cálculos.

Para las obras de atraque y amarre, la intensidad y profundidad de la investigación geotécnica necesaria para considerar que ésta es suficientemente fiable y precisa se recoge en la ROM 0.5-05 (apartados 2.3, 2.7.2, 2.12 a 2.14 y 3.3.10).

4.3.2. Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilistas de la ecuación de verificación, las propiedades del terreno que intervienen en la misma, correspondientes a cada capa homogénea, se definirán a través de su función de distribución.

Con carácter general y siempre que no se haya podido identificar expresamente una ley de variación más acorde con la variabilidad observada de cada parámetro geotécnico, se podrá adoptar como función de distribución la función log-normal definida por el valor medio (λ) y la desviación estándar (ξ) del logaritmo del parámetro geotécnico (X). Es decir:

$$\text{Valor medio del logaritmo:} \quad \lambda = \ln X_m - \frac{1}{2} \xi^2$$

$$\text{Desviación estándar del logaritmo:} \quad \xi = \sqrt{\ln(1 + v^2)}$$

Donde X_m y v son, respectivamente, el valor medio de X y su coeficiente de variación (Ver ROM 0.5-05).

En aquellos casos en los que la variabilidad del parámetro no se considere significativa; es decir que, en el rango de variación observado, ésta no sea relevante para el modo de fallo, los parámetros del terreno podrán, simplificada, introducirse en la ecuación de verificación a través de su valor representativo.

En la ROM 0.5-05, así como en las Recomendaciones de la serie 2 referidas a cada tipología de obra de atraque, se recogen los parámetros del terreno a considerar para la verificación de cada modo de fallo en cada estado de proyecto.

4.4 DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

En las obras de atraque y amarre, los materiales de construcción más frecuentemente utilizados son: hormigón, acero, materiales de cantera, rellenos naturales, geotextiles, plásticos, aluminio y madera.

En cada estado, las propiedades de dichos materiales se considerarán de carácter permanente y, con carácter general, podrán definirse simplificada, a través de valores nominales o representativos tanto si las ecuaciones de verificación se escriben en los formatos determinista o determinista-probabilista como en el probabilista, ya que los procesos constructivos y de fabricación están sometidos normalmente a procesos de control de calidad que limitan enormemente la variabilidad de las propiedades de los materiales.

El valor nominal o representativo de las propiedades de los materiales que compondrán la obra será especificado por el proyectista, así como los límites admisibles del rango de variación, debiendo consignarse en el Pliego de Prescripciones Técnicas.

Dichos valores se corresponden normalmente con:

- ◆ *Para las propiedades del hormigón, acero, geotextiles, plásticos, aluminio y madera:*
 - Para los pesos específicos y otros parámetros de resistencia, el valor característico o valor correspondiente al cuantil de la probabilidad de no excedencia del 5 % o del 95 %, según sea más desfavorable para los cálculos, correspondiente a la función de distribución de la propiedad considerada.
 - Para los parámetros de deformación, el valor medio.
- ◆ *Para las propiedades de materiales de cantera y rellenos naturales:*
 - Con la estimación prudente del valor medio: en el caso de los rellenos naturales deberán tenerse en cuenta las variaciones que experimentan los parámetros del terreno por el sólo hecho de ser removido de su lugar natural, así como el procedimiento de puesta en obra.

En el caso de que sea necesario considerar la variabilidad de las propiedades de los materiales en formulaciones probabilistas por ser relevante para el modo de fallo analizado, las propiedades de los materiales se definirán a través de su función de distribución. La ley de distribución más acorde con cada propiedad de los materiales, en función del nivel de control de calidad adoptado, se recogerá en la ROM 0.I.Recomendaciones sobre materiales constructivos.

Durante el proceso constructivo “in situ” o en fábrica deberá quedar garantizado el cumplimiento de los valores nominales o representativos especificados en el proyecto y, en su caso, de los valores límite de los parámetros que caracterizan las funciones de distribución para las propiedades de los materiales a través de la realización de los correspondientes ensayos. El Pliego de Prescripciones Técnicas deberá incluir el tipo, número y condiciones de los ensayos a realizar a estos efectos, así como los criterios que garantizan que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de variabilidad y del intervalo de confianza exigido. Cuando se trate de materiales construidos en un proceso industrial sujeto a procesos de control de calidad debidamente normalizados (Normas UNE, Europeas, ...), el valor representativo de las propiedades de los materiales o, en su caso, la función de distribución, estará garantizado por el fabricante.

En las distintas Recomendaciones de la serie 2 correspondientes a las distintas tipologías estructurales de obras de atraque y amarre, se incluirán las propiedades de los materiales a considerar para la verificación de cada modo de fallo, señalándose los valores representativos y los límites del rango de variación de las mismas que se recomienda en el proyecto, tomando en consideración, entre otras, la estrategia de durabilidad adoptada. De igual forma, en dichos apartados y mucho más detalladamente en la ROM 0.I se señalarán los ensayos que deben exigirse en los Pliegos de Prescripciones Técnicas para que dichos valores queden garantizados.

La variación de las propiedades de los materiales de construcción puede ser significativa para la definición de agentes y acciones asociados al propio comportamiento del material (Agentes de los materiales, q_m).

4.5 DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL MEDIO FÍSICO

En cada estado, las propiedades del aire y del agua (densidad, viscosidad cinemática, ...) se considerarán de carácter permanente y, con carácter general, podrán definirse a través de valores nominales tanto si las ecuaciones de verificación se escriben en los formatos determinista o determinista-probabilista como en el probabilista, ya que el rango de variación observado en estos parámetros no es relevante para los distintos modos de fallo.

En ausencia de información más detallada en el emplazamiento, se adoptarán los siguientes valores nominales de las propiedades del aire y del agua que inciden en el proyecto de obras de atraque y amarre, correspondientes a valores medios:

- ◆ *Propiedades del aire:*
 - Densidad del aire (ρ_a): Es función de la humedad, temperatura y presión atmosférica. Simplificadamente podrá tomarse como valor nominal $1,23 \text{ kg/m}^3$. No obstante, cuando la obra de atraque se encuentre en zonas muy batidas por el oleaje en las que sea previsible o conocido que el viento pueda arrastrar abundante contenido de agua (rocién), deberán tenerse en cuenta aumentos en la densidad del aire compatibles con el oleaje existente. En algunos casos se ha medido hasta un máxi-

mo de 15 kg/m^3 . También deberán tenerse en cuenta aumentos en la densidad del aire en aquellos emplazamientos en los que el viento pueda arrastrar un alto contenido de partículas sólidas (p.e. en zonas desérticas).

- ◆ *Propiedades del agua:*
 - Densidad del agua (ρ_w): Es función de la salinidad y la temperatura. Simplificadamente podrá tomarse como valor nominal 1.000 kg/m^3 para agua dulce y 1.030 kg/m^3 para agua marina en el Mediterráneo y 1.025 kg/m^3 en el Atlántico. No obstante, cuando el agua se encuentre cargada de sedimentos o partículas en suspensión (p.e. rellenos hidráulicos, avenidas fluviales,...) deberán considerarse valores mayores de la densidad del agua entre 1.200 y 1.600 kg/m^3 hasta que hayan finalizado los procesos de decantación ⁽¹⁰⁾.
 - Viscosidad cinemática del agua (ν): Es función de la salinidad y la temperatura. Simplificadamente podrá tomarse como valor nominal $1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ en el Atlántico y $1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ en el Mediterráneo.

4.6 DEFINICIÓN DE LOS AGENTES Y SUS ACCIONES

Los agentes capaces de provocar acciones significativas en las obras de atraque y amarre son los siguientes:

- ◆ Gravitatorio (q_g)
- ◆ Del medio físico (q_f)
- ◆ Del terreno (q_t)
- ◆ De uso y explotación (q_v)
- ◆ De los materiales (q_m)
- ◆ Del proceso constructivo (q_c)

Los agentes y las acciones resultantes tendrán la consideración de permanentes, no permanentes o variables y extraordinarios en función de su variabilidad temporal en el estado considerado, de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos para todos los factores de proyecto en el apartado 4.1 de esta Recomendación.

A su vez, las acciones tendrán la consideración de dinámicas si su aplicación induce aceleraciones significativas en la totalidad de la estructura resistente o en partes de la misma. Es decir, en estos casos la condición de equilibrio obliga a tener en cuenta las fuerzas de inercia de las masas involucradas. Por tanto, el carácter dinámico de una acción no es intrínseco a la misma sino que depende de la respuesta de la estructura al ser solicitada por dicha acción. En general, la susceptibilidad de una estructura a experimentar un comportamiento dinámico depende de sus propias características en relación con las de la acción: frecuencias propias, modos de vibración y capacidad de amortiguamiento. En este sentido, el carácter dinámico de la acción será de naturaleza:

- ◆ Impulsiva, cuando el tiempo de aplicación de la acción es reducido respecto al periodo propio de oscilación de la obra, produciendo en ésta una respuesta que alcanza un valor máximo en el momento inicial y reduciéndose con posterioridad cíclicamente hasta la posición de reposo.
- ◆ Frecuencial o cíclica, cuando la acción varía a lo largo del tiempo con una frecuencia del orden de magnitud de la frecuencia propia o natural de oscilación de la obra (entre $f_n/3$ y $2f_n$).

En los apartados de esta Recomendación correspondientes a la formulación de los distintos agentes y acciones se señalará expresamente la consideración que tienen a los efectos de su variabilidad temporal, así como aquéllos casos en los que el comportamiento dinámico de la acción puede ser significativo y debe ser tomado en consideración en el procedimiento de verificación.

(10) La consideración de valores mayores de la densidad del agua puede ser relevante en algunas situaciones. Por ejemplo, para el cálculo de empujes en el trasdós de obras de atraque o las presiones en el interior de las celdas de cajones deberá considerarse como fase transitoria que en un primer periodo los rellenos no se comportan como un suelo sino como un líquido de alta densidad cuando su vertido en el trasdós de la obra de atraque o en el interior de las celdas se realiza mediante métodos hidráulicos que consisten en su colocación en obra mediante un proceso de sedimentación de partículas sólidas contenidas en un efluente que procede de un dragado.

4.6.1. Agente gravitatorio (q_g)

El agente gravitatorio está asociado a la existencia de la gravedad terrestre (g), pudiendo, en general, distinguirse dos tipos de acciones:

- ◆ Peso propio ($Q_{g,1}$): carga producida por los pesos de los diferentes elementos estructurales.
- ◆ Pesos muertos ($Q_{g,2}$): pesos de los elementos no resistentes en sentido estructural, pero soportados o incluidos en la obra, tales como elementos constructivos, pavimentos, defensas, instalaciones fijas, lastres, rellenos, adherencias marinas, etc.

En cada estado, las acciones gravitatorias se considerarán de carácter permanente y, con carácter general, podrán definirse simplificadaamente a través de valores nominales o representativos tanto si las ecuaciones de verificación se escriben en formatos determinista o determinista-probabilista como en formato probabilista, dado que es usual que para las obras de atraque y amarre se exija que estos factores tengan un reducido rango de variación.

Dado su origen, las acciones gravitatorias vendrán caracterizadas por fuerzas verticales, concentradas o repartidas.

4.6.1.1. Peso propio ($Q_{g,1}$)

Los valores nominales o representativos de los pesos propios se calcularán a partir de los valores nominales de los factores geométricos consignados en los planos y en el Pliego de Prescripciones Técnicas (Ver apartado 4.2) y de los valores nominales o representativos de los pesos específicos unitarios o aparentes (γ) correspondientes a los distintos elementos y materiales que conforman la obra, especificados en el Pliego de Prescripciones Técnicas, y al terreno. Estos valores se corresponden con valores medios o con valores característicos de acuerdo con lo dispuesto en los apartados 4.3 y 4.4 de esta Recomendación.

Por tanto, el peso propio puede definirse a través de la formulación:

$$Q_{g,1} = \rho \cdot g \cdot V = \gamma V$$

Siendo V el volumen del elemento considerado en el caso de cargas concentradas y el volumen por unidad de superficie en el caso de cargas repartidas.

En el caso de que se admitan desviaciones admisibles de los parámetros geométricos (tolerancias) de acuerdo con lo previsto en el apartado 4.2.1, éstas se tomarán en consideración para la definición de los valores nominales de los pesos propios siempre que sean desfavorables para la verificación.

Cuando no se disponga de información detallada en el emplazamiento o el proyecto no contemple la definición específica de los valores nominales o representativos de los pesos específicos de los materiales, se podrán tomar los consignados en la tabla 4.6.1.1 para los más habituales. Para los pesos específicos de los terrenos y de los rellenos ver respectivamente las tablas 2.4.3, 4.9.8 y 4.9.9 de la ROM 0.5-05.

Para el cálculo de los pesos propios de las partes de la obra que se encuentren total o parcialmente sumergidos se recomienda calcular el peso propio a través de los pesos específicos saturados, considerando adicionalmente los empujes ascensionales del agua equivalentes al peso del agua desplazada (empuje de Arquímedes) como una acción independiente. En el caso de los pesos específicos del terreno natural y rellenos de aportación se considerarán con su valor saturado o sumergido ($\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$), dependiendo de la ecuación de verificación adoptada, según se plantee ésta en tensiones totales o en tensiones efectivas. En el caso de que existan gradientes hidráulicos significativos, cuando la ecuación de verificación se plantee en tensiones efectivas, la utilización de pesos específicos sumergidos exigirá la consideración simultánea de las correspondientes fuerzas de arrastre (ver apartado 3.4.5 de la ROM 0.5-05). En las sucesivas Recomendaciones de la serie 2 correspondientes a cada tipología de obra de atraque y amarre se indicará expresamen-

te cuándo estos gradientes hidráulicos son significativos para los cálculos del peso propio. Los niveles de las aguas libres exteriores y de los niveles de saturación que se adopten para estos cálculos serán los compatibles con los distintos ciclos de sollicitación de los agentes predominantes de los estados de proyecto analizados (ver apartado 4.6.2.1).

El peso propio de un elemento resistente cuyas dimensiones finales van a verificarse en el proceso de cálculo se estimará inicialmente en la fase de predimensionamiento. Si las sollicitaciones finales de cálculo conducen a unas dimensiones de los elementos resistentes cuyos pesos no difieren de los obtenidos en el predimensionamiento en más de un 3% podrá prescindirse de un nuevo cálculo, excepto en aquellos casos en que el peso propio sea determinante para el elemento o estructura que se analiza.

Cuando el peso propio sea determinante para la verificación de un modo de fallo deberán incluirse en el Pliego de Prescripciones Técnicas del Proyecto las cláusulas correspondientes que impongan la obligatoriedad de que los referidos pesos sean alcanzados o no se superen durante la ejecución de la obra, así como los distintos métodos de control en obra de dichos valores y, en su caso, las tolerancias correspondientes.

Tabla 4.6.1.1. Pesos específicos unitarios o aparentes y porosidades usuales de elementos constructivos y estructurales

A. ELEMENTOS BÁSICOS		Peso específico aparente (kN/m ³)	Peso específico saturado (kN/m ³)	Porosidad (%)
A1 – AGUA	Dulce	9,8	–	–
	Marina	10,1	–	–
A2 – LIGANTES BITUMINOSOS (a 25°)	Alquitrán	12,8	–	–
	Betunes y Emulsiones	10,8	–	–
A3 – MADERAS	Seca blanda	5,9	–	–
	Seca dura	8,8	–	–
	Mojada	10,8	–	–
A4 – MATERIALES CERÁMICOS Y AFINES	Baldosa de cemento	20,6	–	–
	Baldosa de gres	16,7	–	–
	Baldosa de cerámica	17,7	–	–
	Fibro cemento	19,6	–	–
	Ladrillo cerámico hueco	10,8	–	–
	Ladrillo cerámico perforado	13,7	–	–
	Ladrillo cerámico macizo	17,7	–	–
Ladrillo silicocalcáreo macizo	18,6	–	–	
A5 – METALES	Acero	77,0	–	–
	Aluminio	26,5	–	–
	Bronce	83,4	–	–
	Cobre	87,3	–	–
	Estaño	72,6	–	–
	Fundición	71,6	–	–
	Latón	83,4	–	–
	Plomo	111,8	–	–
Zinc	70,6	–	–	
A6 – ROCAS	Arenisca	25,5	–	–
	Basalto	27,5	–	–
	Caliza	27,5	–	–
	Creta o caliza porosa	19,6	–	–
	Diorita	27,5	–	–
	Gneis	29,4	–	–
	Granito	27,5	–	–
	Lapillis (picón)	24,5	–	–
	Marga	22,6	–	–
	Mármol	27,5	–	–
	Pizarra	23,5	–	–

Pesos específicos unitarios o aparentes y porosidades usuales de elementos constructivos y estructurales (continuación)

A. FÁBRICAS		Peso específico aparente (kN/m ³)	Peso específico saturado (kN/m ³)	Porosidad (%)
B1 – DE BLOQUES (Según tipo de bloque)		12,8-15,7	–	–
B2 – DE LADRILLO (Según tipo de ladrillo)		11,8-19,6	–	–
B3 – DE GAVIONES		19,6	22,6	30,0
B4 – HORMIGONES	Normal en masa	22,5-23,5	–	–
	Normal armado y pretensado	24-25	–	–
	Normal con fibras	23-24	–	–
	Ligeros	17,5-18	–	–
	Epoxi	22,5-23	–	–
	Ciclópeo	19-20	–	–
	Pesados	29-30	–	–
B5 – MAMPOSTERÍAS CON MORTERO (Careadas, concertadas, descafiladas) (Según peso específico de la roca)		23,5-26,5	–	–
B6 – MAMPOSTERÍAS EN SECO (Según peso específico de la roca)		24,5-27,5	–	–
B7 – SILLERÍAS (Según peso específico de la roca)		25,5-29,4	–	–
C. PAVIMENTOS		Peso específico aparente (kN/m ³)	Peso específico saturado (kN/m ³)	Porosidad (%)
C1 – CAPAS GRANULARES		22,6	–	20
C2 – SUELOS ESTABILIZADOS		20,6	–	–
C3 – MEZCLAS BITUMINOSAS		24,5	–	–
C4 – PAVIMENTOS DE HORMIGÓN		23,5	–	–
C5 – ADOQUINES DE PIEDRA LABRADA		25,5	–	–
C6 – ADOQUINES DE HORMIGÓN		21,6	–	–
D. TERRENOS NATURALES		Peso específico aparente (kN/m ³)	Peso específico saturado (kN/m ³)	Porosidad (%)
D1 – SUELOS GRANULARES	Grava densa	18,2	21,5	30
	Grava floja	15,6	19,6	40
	Grava arenosa densa	20,8	22,8	20
	Grava arenosa floja	18,2	21,5	30
	Arena densa	17,0	20,4	35
	Arena floja	15,6	19,6	40
	D2 – SUELOS COHESIVOS	Limo y arcilla arenolimoso media	16,8	20,6
Limo y arcilla arenolimoso blanda		14,8	19,0	45
Arcilla consistente (sobreconsolidada)		17,5	21,0	35
Arcilla blanda (normalmente consolidada)		13,5	18,5	50
Sedimento orgánico muy arcilloso		14,0	16,5	60
Sedimento orgánico poco arcilloso		10,0	14,0	75
Turba		12,8	12,8	–
Fango		14,7	14,7	–
E. RELLENOS		Peso específico aparente (kN/m ³)	Peso específico saturado (kN/m ³)	Porosidad (%)
E1 – ESCOLLERAS Y PEDRAPLENES (colocación aleatoria) De granulometría abierta:	Escollera natural (s/peso esp. roca)	17,5-16,0	21,5-20,0	37-40
	Bloques paralelepípedicos	13,2-12,0	17,7-17,0	40-50
	Tetrápodos	12,0-11,3	17,5-16,7	50-55
	Dolos	11,3-10	16,7-16,0	55-60
	Acrópodos, Core-Loc	12,0-11,3	17,5-16,7	50-60
	Pedraplenes	17,5-16,5	21,0-20,0	40
	Balasto	15,7	19,6	40

Pesos específicos unitarios o aparentes y porosidades usuales de elementos constructivos y estructurales (continuación)

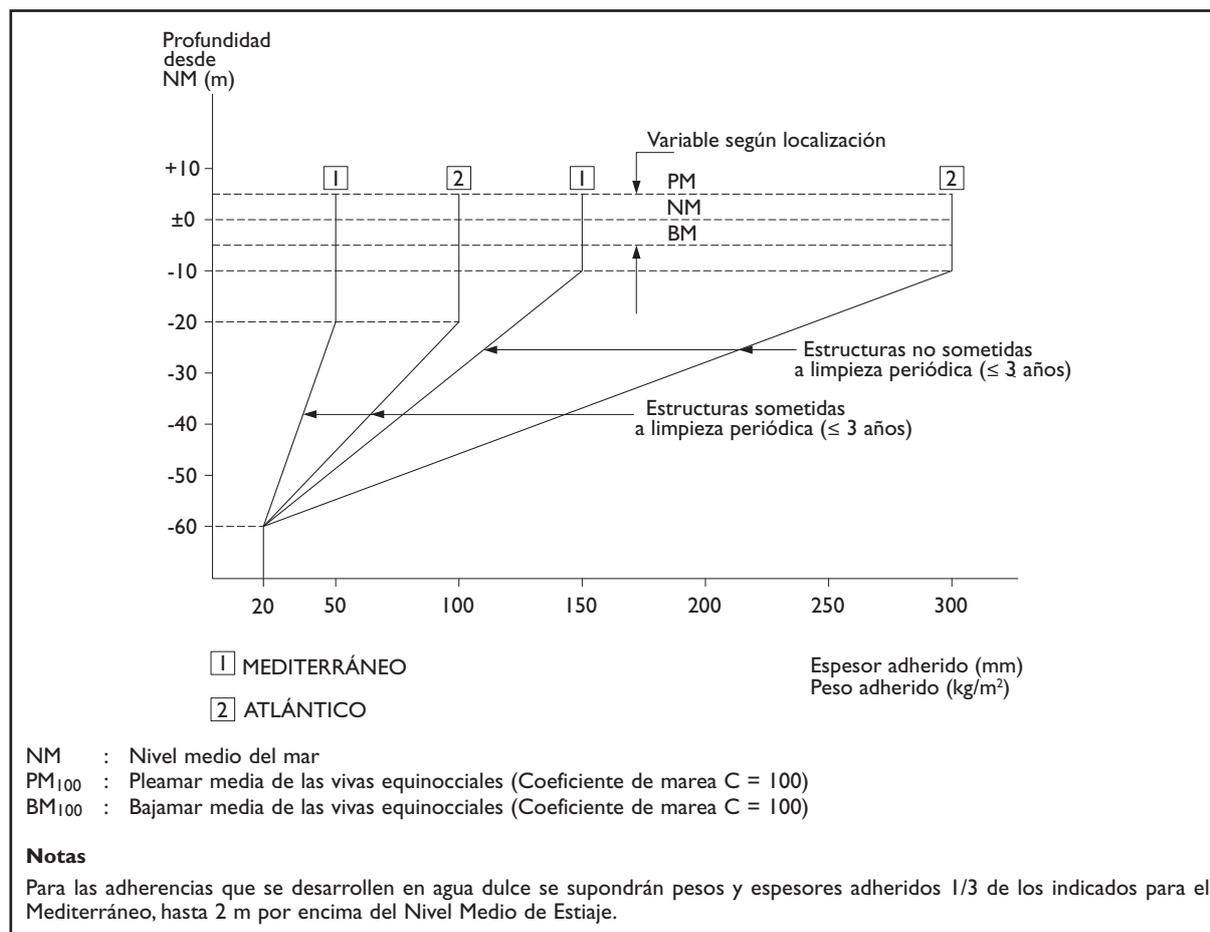
E. RELLENOS		Peso específico aparente (kN/m^3)	Peso específico saturado (kN/m^3)	Porosidad (%)
E1 – ESCOLLERAS Y PEDRAPLENES (colocación aleatoria) De granulometría cerrada (todo uno y detritus de cantera o suelos seleccionados):	Compacto	20,3	22,8	25
	Poco compacto	16,9	20,5	35
E2 – RELLENOS GRANULARES Y COHESIVOS	Gravas compactas	18,9	21,9	30
	Gravas poco compactas	16,5	20,2	40
	Arenas compactas	19,0	21,9	30
	Arenas poco compactas	16,5	20,0	40
	Limos	14,0	14,0	–
	Terraplenes	16,5	20,5	40
E3 – RELLENOS ANTRÓPICOS	Escombros urbanos y basuras de demolición compactados	12,8	14,7	20
E4 - RELLENOS NO CONVENCIONALES	Escorias de alto horno granulares compactas	13,5	16,0	30
	Escorias de alto horno granulares poco compactas	11,5	15,0	40
	Escorias alto horno troceadas compactas	19,5	21,0	25
	Escorias de alto horno troceadas poco compactas	16,0	19,0	40
	Lapillis compactos	18,0	21,0	30
	Lapillis poco compactos	16,5	20,0	35
	Cenizas volantes compactas	13,0	17,0	40
	Cenizas volantes poco compactas	8,5	14,5	60
F. OTROS		Peso específico aparente (kN/m^3)	Peso específico saturado (kN/m^3)	Porosidad (%)
F1 – ADHERENCIAS MARINAS		9,8	–	–
Notas				
Para materiales compuestos el peso específico aparente emergido puede variar considerablemente según las condiciones locales, y en particular, según el contenido de agua.				

4.6.1.2. Pesos muertos ($Q_{g,2}$)

Para la definición de los valores nominales o representativos de los pesos muertos se tendrán en cuenta todos los criterios contemplados en el apartado 4.6.1.1, con las siguientes consideraciones adicionales:

- ◆ Se recomienda que los pesos del equipamiento y de las instalaciones fijas sean obtenidos directamente de fabricantes y proveedores o mediante pesadas directas de los elementos correspondientes.

Dada su poca relevancia en relación con otras imprecisiones de cálculo, la carga muerta debida a adherencias marinas únicamente se tendrá en cuenta en aquellos casos en que el aumento de peso originado por ellas pueda ser significativo para la seguridad o la aptitud para el servicio de la estructura (p.e. en algunas obras de atraque flotantes). No obstante, deberá considerarse la actuación de adherencias marinas en cuanto causantes de importantes sobreespesores y modificaciones de la rugosidad superficial, los cuales deberán ser tenidos en cuenta en la valoración de algunas acciones (p.e. fuerzas de arrastre e inercia causadas por el oleaje sobre obras de atraque y amarre de pilotes). No se considerarán adherencias marinas en fase de construcción, excepto si la duración asignada en proyecto a dicha fase es superior a 3 años. En ausencia de información local detallada, la cuantificación de las adherencias marinas en las aguas costeras españolas podrá aproximarse mediante la tabla 4.6.1.2.

Tabla 4.6.1.2. **Quantificación de adherencias marinas en las aguas costeras españolas**

4.6.2. Agentes del medio físico (q_f)

Los principales agentes del medio físico que afectan a las obras de atraque y amarre, bien produciendo efectos directos en las mismas (acciones), bien solicitando a otros factores de proyecto (p.e. el buque, las mercancías, los equipos de manipulación de mercancías, ...), son los asociados a las manifestaciones de la dinámica atmosférica y marina, a los gradientes térmicos y a los movimientos sísmicos. Se distinguirán los siguientes agentes:

- ◆ Climáticos atmosféricos básicos: presión atmosférica y viento ($q_{fc,1}$ y $q_{fc,2}$)
- ◆ Otros climáticos atmosféricos: lluvia, nieve y hielo ($q_{fc,3}$)
- ◆ Climáticos marinos y fluviales ($q_{fc,4}$ a $q_{fc,6}$)
- ◆ Térmicos (q_{ft})
- ◆ Sísmicos (q_{fs})

La manifestación conjunta estacionaria de varios agentes del medio físico atmosféricos y marinos con el mismo origen (p.e. presión atmosférica, viento, oleaje, marea meteorológica) define un estado meteorológico, en el que puede considerarse que estos agentes están en mayor o menor medida correlacionados. De igual forma, la manifestación del sismo define un estado sísmico.

Los agentes del medio físico climáticos tienen normalmente un carácter variable en los estados meteorológicos, y en general, salvo en el caso de los otros climáticos atmosféricos, la variabilidad temporal de cada uno de los agentes y de las acciones por ellos generadas tiene un marcado carácter oscilatorio. En estos casos, en cada estado esta variabilidad puede describirse mediante modelos de probabilidad de las variables básicas que los defi-

nen en cada estado y sus parámetros estadísticos, o bien mediante un análisis frecuencial obteniendo el espectro y los correspondientes parámetros espectrales. Los parámetros estadísticos o espectrales que definen un agente del medio físico en un determinado estado se denominan variables de estado. El agente sísmico tiene también un carácter variable en el estado sísmico. No obstante, en dicho estado puede considerarse que los agentes climáticos tienen el carácter de permanentes. Tanto en los estados meteorológicos como sísmicos el agente térmico tiene un carácter de permanente.

La variabilidad estadística de los agentes del medio físico, en el emplazamiento y en presencia de la obra, durante una fase de proyecto se recomienda, siempre que se disponga de datos, que se describa a partir de la función de distribución conjunta de las variables de estado que caracterizan los agentes con el mismo origen, en el año meteorológico; la cual define conjuntos de valores posibles y concomitantes de los agentes y su probabilidad de presentación. Si se consideran únicamente los valores de las variables de estado pertenecientes a la cola superior, las funciones de distribución se denominan regímenes extremales. Si, por el contrario se consideran los valores centrados de las variables, las funciones de distribución se denominan regímenes medios.

No obstante, en ausencia de regímenes conjuntos y por simplicidad en el tratamiento de muchas variables será admisible utilizar sustitutivamente los regímenes marginales, escalares o direccionales, de la variable de estado considerada como principal ⁽¹¹⁾ correspondiente al agente predominante para el modo de fallo o parada analizado, considerándose el resto de variables, tanto del mismo agente como de otros agentes, correlacionadas con ésta. Estas correlaciones pueden definirse a partir de las funciones de distribución conjuntas bivariadas con la variable principal por medio de las funciones de distribución de la variable correlacionada, condicionadas a cada valor y, en su caso, dirección de la variable principal. A su vez, para las formulaciones deterministas y semiprobabilistas de las ecuaciones de verificación será admisible sustituir dichas funciones de distribución por funciones que correlacionan dicha variable con cada una de las otras que caracterizan al mismo u otro agente dependientes de ella. A estos efectos, dichas funciones se obtendrán mediante un ajuste analítico, considerando que a cada valor de la variable principal se le asigna el valor correspondiente a una determinada probabilidad de no excedencia en la función de distribución de la variable correlacionada condicionada a dicho valor de la variable principal. En general dicha probabilidad puede tomarse igual al 85% o al 15%, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o los inferiores de la variable correlacionada (Ver figura 4.6.2.1). En el caso de que por las condiciones del emplazamiento sea admisible considerar que algunos agentes climáticos no están correlacionados o presentan una débil dependencia entre sí es admisible utilizar los regímenes marginales de las variables principales de los agentes que pueden considerarse independientes, conjuntamente con las funciones de distribución conjuntas bivariadas de cada una de dichas variables y las variables que están correlacionadas con las mismas (Ver apartados 4.1.1 y 4.1.2).

4.6.2.1. Agentes atmosféricos básicos y climáticos marinos

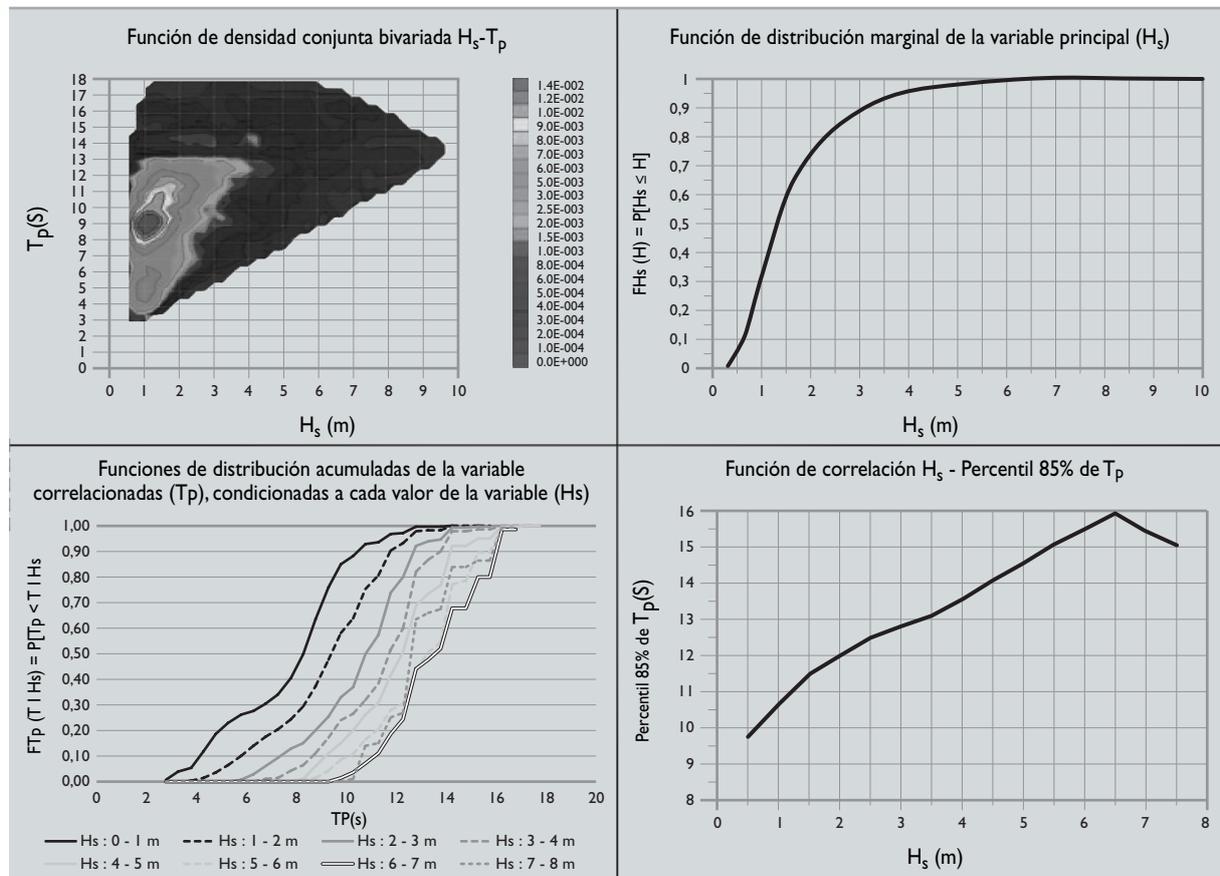
Los agentes atmosféricos básicos y climáticos marinos que definen un estado meteorológico que tienen una mayor importancia para las obras de atraque y amarre son:

- ◆ Viento ($q_{fc,2}$).
- ◆ Corrientes permanentes y uniformes ($q_{fc,4}$) y variables ($q_{fc,5}$).
- ◆ Oscilaciones marinas y fluviales de periodo largo ($T > 3 h$): niveles de agua asociados a mareas y regímenes fluviales ($q_{fc,61}$).
- ◆ Oscilaciones marinas de periodo intermedio ($30 s < T < 3 h$): ondas largas ($q_{fc,62}$).
- ◆ Oscilaciones del mar de periodo corto ($3 s < T < 30 s$): oleaje ($q_{fc,63}$).

Y en menor escala también lo pueden definir otros agentes atmosféricos no básicos como la lluvia, la niebla, el hielo, la temperatura, etc.

(11) Se define como variable de estado principal de un agente a la variable a la cual es más sensible el comportamiento de la obra frente a cada uno de los modos de fallo o parada.

Figura 4.6.2.1. Ejemplos de funciones de densidad conjuntas biviadas, funciones de distribución marginales y condicionadas y funciones de correlación asociadas (Agente: oleaje)



La descripción completa y detallada de estos agentes, de las funciones de distribución de las variables básicas que definen su variabilidad en cada estado, así como de las diferentes variables de estado o parámetros estadísticos o espectrales que los caracterizan en el estado no es objeto de esta ROM, pudiendo a estos efectos consultarse para el agente viento la ROM 0.4-94, y para las oscilaciones marinas y las corrientes la ROM 1.0. Diques de abrigo. Criterios generales y factores de proyecto.

Los parámetros de cada agente que deben tomarse en consideración para la definición de las acciones y demás factores dependientes del agente que intervienen en una ecuación de verificación están asociados con los fundamentos del modelo de cálculo de las acciones y de la propia ecuación de verificación, y dependen generalmente del tipo de obra, elemento o instalación, de la duración del estado y del modo de fallo o parada considerado, así como de si hacemos la evaluación a nivel básico (ej. por ola a ola o componente espectral a componente espectral) o a nivel de estado (utilizando en ese caso variables de estado). En la tabla 4.6.2.1 se incluyen las variables de estado correspondientes a los agentes que, con carácter general, se adoptan para la definición de las acciones que actúan sobre las obras de atraque y amarre, cuando hacemos la evaluación a nivel estado. En los correspondientes apartados de esta Recomendación, sí como en las sucesivas Recomendaciones de la Serie 2 se indicarán los parámetros a utilizar en cada caso.

◆ **Correlaciones entre los agentes climáticos en un estado meteorológico**

En relación con el grado de correlación existente en el emplazamiento entre los distintos agentes climáticos que definen un estado meteorológico, pueden distinguirse las siguientes áreas:

- *Áreas restringidas o direcciones en las que el oleaje que afecta a la obra de atraque está generado por el viento local:* puede considerarse que en estas áreas el viento, el oleaje y las corrientes de deriva cau-

sadas por el viento están completamente correlacionados. Por el contrario, en esta situación, simplifadamente podrá considerarse que el viento local y los niveles de agua no presentan ningún tipo de correlación, despreciándose las pequeñas sobreelevaciones del nivel de las aguas que el viento local pudiera causar. Ejemplos de estas áreas pueden ser los interiores de rías y estuarios, las bahías amplias abrigadas, ...

Tabla 4.6.2.1. Variables de estado de los agentes climáticos que generalmente se adoptan para la definición de las acciones que actúan sobre las obras de atraque y amarre *

AGENTE	PARÁMETRO	En instalaciones fijas		En instalaciones flotantes			
		Obras cerradas	Obras abiertas	Pequeñas embarcaciones y elementos flotantes hasta 25 m de eslora	Buques y estructuras flotantes de eslora mayor de 25 m		
OLEAJE	Altura de ola	H_{max}	H_{max}	$H_{1/3}, H_{rms}$ o H_{max}			
	Periodo	\bar{T} o T_p					
	Dirección	$\bar{\theta}$ (todas las posibles o bien la más crítica si su identificación es posible)					
NIVELES DE AGUA ASOCIADOS A MAREAS Y RÉGIMENES FLUVIALES	Nivel alto	$h_{AM}, 10 \text{ min}$					
	Nivel bajo	$h_{BM}, 10 \text{ min}$					
CORRIENTES	Velocidad de la corriente	$V_C, 10 \text{ min} (z')$					
	Dirección de la corriente	α (todas las posibles o bien la más crítica si su identificación es posible. En cualquier caso la dirección debe ser compatible con el nivel de agua adoptado)					
		En elementos e instalaciones fijas			En elementos e instalaciones móviles		
		Equipamientos y subestructuras	Estructuras o partes de ella cuya mayor dimensión horizontal y vertical no sobrepasa los 50 m	Estructuras o partes de ella cuya mayor dimensión horizontal o vertical excede los 50 m	Equipamiento y equipos e instalaciones de manipulación y transporte de mercancías	Pequeñas embarcaciones y elementos flotantes hasta 25 m de eslora	Buques y estructuras flotantes de eslora mayor de 25 m.
VIENTO	Velocidad del viento	$V_v, 3 \text{ s} (z)$	$V_v, 5 \text{ s} (z)$	$V_v, 15 \text{ s} (z)$	$V_v, 3 \text{ s} (z)$	$V_v, 15 \text{ s} (z)$	$V_v, 1 \text{ min} (z)$
	Dirección del viento	α (todas las posibles o bien la más crítica si su identificación es posible)					

* Las variables de estado a considerar incluidas en esta tabla se recomiendan con carácter general, sin perjuicio de que deban considerarse otras variables para la verificación de algunos modos de fallo específicos adscritos tanto a estados límite últimos (p.e. inestabilidades hidráulicas: socavaciones, erosiones externas e internas,...), como a estados límites de servicio (p.e. durabilidad) y estados límites operativos (p.e. suspensión de la permanencia de los buques en el atraque: agitación,...). Para estos casos, las variables de estado recomendadas se indicarán expresamente en las Recomendaciones de la Serie 2 en los que se definan las correspondientes ecuaciones de verificación de estos modos de fallo.

Variables de estado de los agentes climáticos que generalmente se adoptan para la definición de las acciones que actúan sobre las obras de atraque y amarre (continuación)

Leyenda	
H_{rms}	: altura de ola media cuadrática del estado de mar. Puede considerarse equivalente a $0,706 H_{1/3}$.
$H_{1/3}$: valor medio del tercio de alturas de ola mayores del estado de mar. Puede considerarse equivalente a la altura de ola significativa espectral (H_{m0}), denominándose también altura de ola significativa (H_s)
$H_{1/10}$: valor medio del décimo de alturas más altas del estado de mar. En ausencia de información más detallada pueden adoptarse con carácter general las siguientes relaciones: – $H_{1/10} = 1,27 H_{1/3}$ en aguas profundas. – $H_{1/10} =$ (de 1,27 a 1,10) $H_{1/3}$ en profundidades relativas ($h/L < 1/10$), en función del porcentaje de olas en rotura. A los efectos de esta tabla se adoptará como L la longitud de onda asociada el periodo medio del oleaje en un estado de mar.
H_{max}	: valor más probable de la máxima altura de ola del estado de mar. En ausencia de información más detallada puede adoptarse con carácter general la siguiente relación: – $H_{max} =$ (de 1,60 a 2,00) $H_{1/3}$, en aguas profundas, en función del número de olas del estado de mar. – $H_{max} =$ (de 1,60 a 1,30 y de 2,00 a 1,60) $H_{1/3}$ en profundidades relativas ($h/L < 1/10$), en función del número de olas del estado de mar y del porcentaje de olas en rotura. En cualquier caso, H_{max} no superará la máxima altura de ola posible [simplificadamente en estos casos puede adoptarse que $H_{max} < 0,9 h$ para fondo plano o pendientes suaves o muy tendidas, $tg\alpha < 1/50$]
$T_{1/3}$: valor medio de los periodos del tercio de olas más altas del estado de mar. También se denomina periodo significativo (T_s).
\bar{T}	: periodo medio en un estado de mar. Puede considerarse equivalente al periodo medio espectral tipo (0,2). [$T_m = T_{0,2}$].
T_p	: periodo de pico o periodo en el cual el espectro del oleaje tiene su contenido energético máximo.
$\bar{\theta}$: Dirección media de propagación del oleaje.
$h_{AM,10 min}$: nivel alto de las aguas, obtenido como el valor medio correspondiente a periodos de medición de 10 minutos.
$h_{BM,10 min}$: nivel bajo de las aguas, obtenido como el valor medio correspondiente a periodos de medición de 10 minutos.
$V_{C,10 min}(z')$: velocidad horizontal de la corriente a una altura z' desde el fondo, obtenida como el valor medio correspondiente a periodos de medición de 10 minutos. \bar{V}_C
$\bar{V}_v(z')$: velocidad horizontal media del viento a una altura z sobre el nivel de las aguas exteriores, obtenida como el valor medio correspondiente a periodos de medición de 10 minutos.
$V_{v,3s}(z)$: velocidad horizontal máxima probable del viento a una altura z sobre el nivel de las aguas exteriores, considerando un periodo de medición de 3 segundos. Simplificadamente, en estos casos puede adoptarse de forma general: $V_{v,3s} = 1,44 \bar{V}_v$.
$V_{v,5s}(z)$: velocidad horizontal máxima probable del viento a una altura z sobre el nivel de las aguas exteriores, considerando un periodo de medición de 5 segundos. Simplificadamente, en estos casos puede adoptarse de forma general: $V_{v,5s} = 1,42 \bar{V}_v$.
$V_{v,15s}(z)$: velocidad horizontal máxima probable del viento a una altura z sobre el nivel de las aguas exteriores, considerando un periodo de medición de 15 segundos. Simplificadamente, en estos casos puede adoptarse de forma general: $V_{v,15s} = 1,38 \bar{V}_v$.
$V_{v,1min}(z)$: velocidad horizontal máxima probable del viento a una altura z sobre el nivel de las aguas exteriores, considerando un periodo de medición de 1 minuto. Simplificadamente, en estos casos puede adoptarse de forma general: $V_{v,1min} = 1,31 \bar{V}_v$.
α	: Dirección del viento.

En ausencia de datos conjuntos en el emplazamiento, estas correlaciones podrán aproximarse a través de métodos y modelos numéricos o paramétricos de generación y propagación de oleaje de viento (Ver Anejo II. ROM 0.4-95), considerando la velocidad del viento como variable principal. En estos casos, la correlación entre el viento y la corriente de deriva causada por el viento puede aproximarse considerando que la velocidad media de la corriente generada por el viento en superficie está en el rango del 2 al 5% de la velocidad media del viento a una altura de 10 m sobre el nivel del mar y con una dirección desviada 20-25° respecto a la dirección del viento en sentido horario en el hemisferio norte y antihorario en el hemisferio sur, admitiéndose una reducción lineal de la misma hasta el fondo. En mares con marea astronómica significativa o en áreas sometidas a regímenes fluviales se considerará otro régimen independiente de correlación entre las corrientes y los niveles de agua igualmente a lo señalado para las áreas exteriores o sometidas a oleajes procedentes de alta mar.

- **Áreas exteriores o aquéllas sometidas fundamentalmente a oleaje procedente de alta mar:** en dichas áreas es admisible considerar que el viento local y el resto de agentes climáticos presentan bajos niveles de correlación, pudiéndose tratar como agentes independientes. Por el contrario, en estos casos, oleaje, niveles de agua, corrientes y, en su caso, ondas largas se considera que pueden presentar niveles importantes de correlación.

Aunque en estas áreas, las corrientes que pueden presentarse son tanto las corrientes oceánicas asociadas a las circulaciones en los mares a nivel global, las corrientes generadas por el oleaje en la zona de rompientes y las debidas al viento local, como las debidas a variaciones de los niveles de

agua y a los regímenes fluviales, en los casos generales de obras de atraque y amarre situadas en las proximidades de la costa será suficiente considerar únicamente las corrientes debidas a mareas y, en su caso, a regímenes fluviales. Estas corrientes son altamente dependientes de los niveles de las aguas, estableciéndose las correlaciones entre ambos en zonas abiertas, en los mares con marea, a través de la obtención de la “elipse de corriente” del vector “velocidad de la corriente” en la que se señalan los distintos niveles de marea simultáneos con cada velocidad y dirección de la corriente (Ver ROM I.0). En áreas portuarias interiores la elipse de corriente se simplifica considerando únicamente corriente entrante y corriente vaciante. El máximo valor de la velocidad de la corriente tanto entrante como vaciante puede considerarse que se produce cuando el nivel de las aguas coincide con el nivel medio del mar. Cuando se consideren los niveles alto y bajo de las aguas se considerará que la velocidad de la corriente es cero. Como orden de magnitud, incluso en zonas con grandes carreras de marea puede considerarse que la velocidad media de la corriente de marea en áreas portuarias generalmente no supera los 3 m/s. En España, dadas las características de las mareas en su litoral, no supera 1,5 m/s. Si la obra de atraque se encuentra situada en un puerto marítimo-fluvial, deberán considerarse dos regímenes de correlación independientes: uno ligado a la marea y otro a la hidrología. En áreas sin marea astronómica significativa o no afectadas por regímenes fluviales puede desprejarse la acción de este tipo de corrientes.

En estos casos, en ausencia de datos conjuntos en el emplazamiento, los valores de los agentes a pie de obra, así como las correlaciones entre los diferentes agentes dependientes en dicho emplazamiento podrán obtenerse a partir de mediciones obtenidas en sus proximidades, trasladándolos hasta pie de obra mediante la aplicación de modelos hidrodinámicos de generación y/o propagación de validez reconocida para las condiciones locales, considerando las condiciones locales existentes en el emplazamiento de la obra y las debidas a la presencia de la misma (Ver ROM I.0). En particular, dada la gran influencia que pueden tener los niveles de agua y las corrientes en los parámetros del oleaje, los cuales pueden incidir en la rotura del oleaje y en las transformaciones del mismo en su aproximación a la costa y hasta el emplazamiento de la obra por el efecto, entre otros, de los procesos de refracción, transmisión, difracción y reflexión, las correlaciones existentes entre ambos deberán obtenerse mediante la realización de estudios de propagación del oleaje, considerando, no únicamente los niveles alto y bajo del nivel de las aguas compatibles con dicho oleaje, sino también niveles intermedios siempre y cuando pudieran ser relevantes para el oleaje. Así mismo, cuando sea relevante, deberá tomarse en consideración las correlaciones existentes entre la presencia de ondas largas que pudieran afectar a las obras, el oleaje y los niveles del mar (Ver ROM I.0).

- *Áreas afectadas tanto por oleajes locales de viento significativos como por oleajes provenientes de alta mar:* En este caso deberán considerarse dos regímenes de correlación independientes, uno ligado al viento local y otro al oleaje proveniente de alta mar de acuerdo con lo previsto en los apartados anteriores.

A los efectos de simplificar la consideración del conjunto de los agentes de actuación simultánea que definen el estado meteorológico, en cada fase de proyecto las obras de atraque y amarre se diferenciarán en:

- *Obras de atraque situadas en áreas interiores o abrigadas frente al oleaje:* son aquellas obras ubicadas en un emplazamiento en las que en ningún estado límite de proyecto, tanto representativo de las condiciones de trabajo extremas y excepcionales como operativas, el oleaje es el agente predominante en un modo de fallo o de parada operativa, al mantenerse éste en dicho emplazamiento y estado en niveles muy alejados de los umbrales de operatividad establecidos. En general, en estos casos, no se considerarán los efectos del oleaje en el proceso de verificación, salvo cuando se comprueben modos de parada de la instalación asociados con la accesibilidad marítima.

Para las obras de atraque y amarre fijas, tanto cerradas como abiertas, situadas en estas áreas los agentes climáticos predominantes en condiciones extremas y excepcionales son generalmente los niveles de agua asociados a mareas y regímenes fluviales conjuntamente, en su caso, con las corrientes dependientes. Por el contrario, para obras flotantes, el agente predominante suele ser el viento. En condiciones normales de operación, los límites de operatividad relevantes suelen estar asociados

con el viento y, en su caso, con la velocidad de la corriente, no siendo en general los niveles de agua causa de limitación de las condiciones de explotación. No obstante, para rampas ro-ro o atraques en los que no se asegure la permanencia del buque en el atraque por razones de calado en todo momento también se pueden establecer límites de operatividad para los niveles de las aguas, aunque no es recomendable (Ver apartados 3.2.1.6 y 3.2.2.2). En el caso de que se definan umbrales de operatividad bien para las corrientes, bien para los niveles de agua, los valores del otro agente serán los compatibles con dichos valores en función de su relación de dependencia. La presencia de ondas largas asociadas a pulsaciones barométricas o vinculadas a la estructura de agrupamiento del oleaje también debe analizarse en estas áreas con el objeto de comprobar si pueden causar limitaciones en la operatividad de la instalación; aunque, en general, es recomendable que se establezcan configuraciones de dársenas y se definan disposiciones de amarre que eviten que se produzcan fenómenos de resonancia que afecten a la permanencia u operaciones del buque en el atraque. (Ver ROM I.0).

- *Obras de atraque situadas en áreas exteriores, no abrigadas, total o parcialmente, frente al oleaje:* son aquellas obras ubicadas en un emplazamiento en las que en algún estado límite de proyecto el oleaje es el agente predominante en un modo de fallo o parada operativa.

Para obras de atraque y amarre fijas, tanto cerradas como abiertas, situadas en áreas exteriores o no abrigadas frente al oleaje, cuando oleaje y viento se puedan considerar como independientes, el agente climático predominante en condiciones extremas y excepcionales será generalmente el oleaje. En obras de atraque flotantes, en función del grado de abrigo del emplazamiento, el agente predominante puede ser tanto el oleaje como el viento. En condiciones normales de operación, en estas áreas los límites de operación se establecen tanto para el oleaje como para el viento y, eventualmente, para la velocidad de la corriente. Asimismo, para rampas ro-ro o atraques en los que no se considere la permanencia del buque en el atraque en todo momento por razones de calado también se pueden establecer límites de operatividad para los niveles de las aguas. Tanto para condiciones extremas como en condiciones normales de operación, los valores de los niveles de agua y de las corrientes dependientes serán los compatibles con oleaje y viento y viceversa, en función del agente adoptado como predominante y de las relaciones de dependencia existentes entre estos agentes en el emplazamiento. La posible presencia de ondas largas también debe considerarse como causa de limitaciones en la operatividad de una instalación situada en áreas exteriores o no abrigadas.

◆ Definición de los agentes climáticos

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, los agentes climáticos a considerar se definirán:

a) *Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas*

Para formulaciones deterministas y semi-probabilistas se trabaja siempre con variables de estado.

a₁) *Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos*

a₁₁) *EN CONDICIONES EXTREMAS Y EXCEPCIONALES DEBIDAS A LA ACTUACIÓN DE UN AGENTE CLIMÁTICO DE CARÁCTER EXTRAORDINARIO*

Para la comprobación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos, el estado meteorológico límite de proyecto correspondiente a condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a un agente climático de carácter extraordinario se definirá a través de los valores representativos compatibles de las variables de estado que caracterizan a los agentes climáticos de actuación simultánea relevantes para el modo de fallo considerado (Ver apartado 4.1.1.1). Para probabilidades de ocurrencia del modo de fallo en estas condiciones de trabajo menores del 5% dichos valores se consignan en la tabla 4.6.2.2 a partir de los regímenes extremos y medios marginales, y en su caso direccionales, en el

emplazamiento y en presencia de la obra, de las variables de estado consideradas como principales correspondientes a agentes que puedan considerarse como independientes entre sí, así como de las funciones que correlacionan dichas variables y las que caracterizan a los agentes dependientes de ellas o de las funciones de distribución de las variables dependientes condicionadas a cada valor y , en su caso, dirección de la variable de la que dependen. Para probabilidades de ocurrencia del modo de fallo en estas condiciones de trabajo mayores o iguales al 5%, el valor característico de la variable de estado principal del agente predominante en condiciones de trabajo extremas será aquel cuya probabilidad de excedencia en la fase de proyecto analizada es igual a la probabilidad de fallo considerada ⁽¹²⁾. En ambos casos, para la variable principal de los agentes independientes se adoptará como valor representativo el correspondiente a un periodo de retorno de 5 años en su régimen extremal marginal, con las consideraciones señaladas en el apartado 4.1.1.1.1 a. para el caso de variables direccionales. Los valores representativos compatibles del resto de variables del agente predominante, así como de las variables correspondientes a los agentes dependientes del agente predominante o del resto de agentes independientes se obtendrán a partir de los valores representativos adoptados para la variable principal del agente con el que están correlacionados a través de las funciones que correlacionan dichas variables, definidas de acuerdo con lo dispuesto en esta Recomendación ⁽¹³⁾ (Ver apartado 4.1.1.1.1 a).

Dado que la escala temporal de los estados de viento y oleaje es menor que la de los niveles de agua, puede suponerse que en los estados meteorológicos de proyecto el agente nivel de las aguas y corriente dependiente tienen el carácter de permanentes. En general, para los niveles de agua y corrientes dependientes será suficiente considerar los niveles correspondientes a los límites superior e inferior del ciclo de oscilaciones marinas y fluviales de largo periodo que actúan en el estado límite de proyecto, con los valores de los niveles alto y bajo compatibles con dicho estado, salvo que las corrientes de marea sean significativas y relevantes para el modo de fallo. No obstante, debido a la influencia de los niveles de aguas y de las corrientes en las transformaciones del oleaje, no es descartable que puedan presentarse estados más desfavorables asociados a niveles intermedios. El proyectista valorará la posibilidad de esta circunstancia. A su vez, en el caso de que la velocidad de la corriente sea significativa y relevante para el modo de fallo, también deberán considerarse distintos valores de la velocidad/dirección de la corriente en el caso de obras de atraque situadas en antepuertos o áreas exteriores, obtenidos a partir de la elipse de corriente asociada con la variación de niveles de las aguas considerada. En los casos de áreas portuarias cerradas será suficiente considerar los casos de máxima velocidad de corriente entrante y máxima de corriente vaciante. En ambos casos se considerará el nivel de las aguas exteriores compatible en el estado con las velocidades de corriente adoptadas. Los niveles de saturación en el terreno natural y en los rellenos que se consideren, en

- (12) La relación entre la probabilidad de excedencia de un agente o acción, n , durante una fase de proyecto de duración L ($p_{n,L}$) y su periodo de retorno, T_R , viene dada por la expresión:

$$p_{n,L} = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^L$$

El proyectista evaluará la incertidumbre estadística asociada a los datos disponibles con los que se han estimado las funciones de distribución. Salvo justificación detallada, se tomarán como valores representativos, no los correspondientes a la estima central de las funciones de distribución, sino los valores extremos del intervalo de confianza del 90%.

- (13) La forma de obtener la función de correlación se recoge en el primer subapartado del apartado 4.6.2. En dicho apartado se señala que la función que correlaciona dichas variables puede obtenerse mediante un ajuste analítico, considerando que a cada valor de la variable principal se le asigna el valor correspondiente a una determinada probabilidad de no excedencia en la función de distribución de la variable correlacionada condicionada a dicho valor de la variable principal. En general, es recomendable para formulaciones de la ecuación de verificación deterministas y semi-probabilistas tomar dicha probabilidad igual al 85% o al 15% (ver figura 4.6.2.1), en función de que sean más desfavorables los valores superiores o los inferiores de la variable correlacionada (Ver apartado 4.1.1.1.1 a).

su caso, en cada estado serán los compatibles con dichos niveles de las aguas exteriores en función de los diferentes tipos de mareas y corrientes fluviales, así como de la permeabilidad de la obra, su cimiento y el relleno (Ver apartado 3.4.4.1 de la ROM 0.5-05).

En ausencia de datos conjuntos en el emplazamiento, así como cuando no se observen niveles claros de correlación, simplificadaamente se podrá considerar que los niveles de agua y corrientes dependientes compatibles con los valores representativos del oleaje pueden obtenerse a partir de los regímenes marginales de los niveles de agua, adoptando como valores representativos los que corresponden de su consideración como un agente independiente del oleaje.

a₁₂) EN CONDICIONES OPERATIVAS

Los valores umbrales para cada uno los agentes climáticos que se establecen habitualmente para obras de atraque y amarre por condiciones de explotación y seguridad se recogen en la tabla 3.2.1.3 de esta ROM para la velocidad del viento, la altura de ola y la velocidad de la corriente, considerando que no actúan simultáneamente o que en el emplazamiento un único agente climático es el predominante para la parada operativa de la instalación, así como en los apartados de esta ROM correspondientes a los agentes de uso y explotación. Lo anterior se establece sin perjuicio de que puedan establecerse otros, mayores o menores, a través de un análisis detallado de los modos de parada en el emplazamiento, considerando las condiciones y factores de proyecto, las características de la flota esperable en el atraque, las condiciones locales del puerto y los requerimientos del Promotor.

Para su aplicación deberá comprobarse que los valores umbral adoptados son alcanzables en el emplazamiento y en presencia de la obra con una probabilidad anual de presentación en el régimen medio conjunto (más de un valor umbral) o marginal (un único valor umbral) mayor de 10^{-3} , así como que los medios y las condiciones físicas y de explotación del puerto permiten la realización de las operaciones portuarias asociadas con el cumplimiento de dichos límites ⁽¹⁴⁾. En el caso de que en el emplazamiento no se alcancen los límites de operatividad establecidos, como mínimo con la probabilidad señalada, se considerarán como límites operativos efectivos los asociados a dicha probabilidad de presentación a los efectos de la verificación de los modos de fallo adscritos a estados límite últimos en condiciones de trabajo operativas.

En los casos en que se defina el agente predominante que condiciona la operatividad de la instalación, para el resto de agentes climáticos se adoptarán los valores compatibles con el adoptado para el agente predominante en el caso de los agentes climáticos de actuación simultánea dependientes de éste, por medio de las funciones que los correlacionan o las funciones de distribución condicionadas de acuerdo con lo establecido a estos efectos en esta Recomendación. Para probabilidades de ocurrencia del modo de fallo en estas condiciones menores del 5%, para los agentes climáticos de actuación simultánea independientes del predominante se adoptarán los valores correspondientes a una probabilidad absoluta de excedencia del 50% tomada del régimen medio, siempre que, en su caso, no superen los límites de operatividad que pudieran estar, en su caso, establecidos individualmente para dicho agente (Ver apartado 4.1.1.1.1. c). Por otra parte, cuando los valores del agente climático predominante no estén limitados directamente por condiciones de explotación y el Promotor considere que no se debe limitar la operatividad por las condiciones locales del puerto u otras causas, se asimilará esta condición operativa a una condición

(14) Por ejemplo, no puede considerarse la limitación de la permanencia de un buque en el atraque si el puerto no dispone de los medios (p.e. remolcadores con potencia suficiente) o su configuración física impide el desatraque del buque en condiciones seguras cuando se superan dichas condiciones límites de los agentes climáticos. En estos casos deberán preverse por ejemplo dispositivos de amarre o potencia de remolcadores suficiente para mantener en todo momento el buque en el atraque en condiciones seguras.

extrema asociada al agente predominante, adoptándose como valor representativo del agente predominante en condiciones normales de operación el valor extremal correspondiente a un periodo de retorno de 50 años para probabilidades de ocurrencia del modo fallo en estas condiciones menores del 5% para el agente predominante y de 5 años para el resto de agentes independientes, siempre que este valor no supere el umbral de operatividad establecido, en su caso, para dicho último agente en la dirección considerada ⁽¹⁵⁾ (Ver tabla 4.6.2.2).

Comentario: por ejemplo, cuando se definan y sean posibles o alcanzables en el emplazamiento los límites de operatividad establecidos para las corrientes como agente predominante, los niveles de agua a considerar serán los compatibles con dichos valores. De igual forma, cuando se establezcan límites de operatividad asociados con los niveles de las aguas como agente predominante, se adoptarán como valores simultáneos de la velocidad de la corriente los compatibles con los mismos. A su vez, cuando los valores de los niveles de agua no estén limitados indirectamente a través de los límites de explotación establecidos para otro agente con el que estén correlacionado, o no pueda obtenerse su valor de compatibilidad con otro agente por ausencia de datos conjuntos en el emplazamiento, simplificada y se podrán adoptar como valores representativos de los niveles de agua en condiciones normales de operación los correspondientes a una probabilidad absoluta de excedencia del 50% del régimen medio cuando el límite de operatividad sea definido por otro agente considerado como predominante.

a₁₃) EN CONDICIONES EXCEPCIONALES DEBIDAS A LA ACTUACIÓN DE UNA ACCIÓN ACCIDENTAL NO CLIMÁTICA O SÍSMICA

En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental no climática y en el estado sísmico, los agentes climáticos tendrán el carácter de permanentes, salvo que algún agente climático sea el agente variable predominante para el modo de fallo en el estado límite asociado a la presentación de una acción accidental o intervenga en la definición del agente variable predominante. En la tabla 4.6.2.2 se consignan los valores representativos de los agentes climáticos de actuación simultánea a adoptar en dichos estados a partir de los regímenes medios marginales y, en su caso, direccionales de las variables independientes entre sí, así como de las funciones que correlacionan dichas variables y las que caracterizan a los agentes dependientes de ellas de acuerdo con lo dispuesto con carácter general (Ver nota 13) en este apartado (Ver apartado 4.1.1.1.1 b).

a₂) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio

Para la comprobación de modos de fallo adscritos a estados límites de servicio, la definición de los estados meteorológicos límite de proyecto se realizará de igual forma que para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos cuando la combinación de agentes y acciones aplicable para la verificación del modo de fallo sea la poco probable o fundamental, la accidental o la sísmica.

Los modos de fallo adscritos estados límite de servicio en los que el tipo de combinación aplicable en la ecuación de verificación sea la frecuente o la cuasi-permanente, la definición del estado meteorológico de proyecto se realizará considerando el valor frecuente de la variable principal del agente climático que, en su caso, sea el predominante para la definición de la acción variable predominante para el modo de fallo analizado. Para el resto de agentes climáticos independientes o en aquellos casos en los que ningún agente climático intervenga en la definición

(15) Para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo mayores o iguales al 5%, se tomará como valor representativo del agente predominante aquél cuya probabilidad de excedencia en la fase de proyecto considerada sea igual a la probabilidad de fallo considerada. Para las variables principales de los agentes independientes del predominante se adoptará el correspondiente a un periodo de retorno de 5 años en el régimen extremal marginal.

del agente variable predominante para el modo de fallo se adoptarán los valores cuasi-permanentes. Para los agentes climáticos dependientes de éstos se adoptarán los valores de compatibilidad (Ver Nota 13) de acuerdo con lo dispuesto en esta Recomendación (Ver apartado 4.1.1.2).

En la tabla 4.6.2.2 se consignan los valores representativos frecuentes y cuasi-permanentes de los agentes climáticos de actuación simultánea a partir de los regímenes medios marginales y, en su caso, direccionales de las variables independientes entre sí, así como de las funciones que correlacionan dichas variables y las que caracterizan a los agentes dependientes de ellas de acuerdo con lo dispuesto con carácter general a estos efectos en esta Recomendación.

a₃) Para la verificación de modos de parada operativa

A los efectos de verificar los modos de parada operativa de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.1.1.3 de esta Recomendación, se definirán los valores umbral de las variables de los agentes climáticos asociados a cada causa de paralización de acuerdo con lo establecido para las condiciones de trabajo operativas de los agentes climáticos en el subapartado a_{12} de este apartado.

Tabla 4.6.2.2. Valores representativos de las variables de estado principales de los agentes climáticos (Para fase de servicio de obras definitivas) ¹⁾ para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo (combinaciones fundamentales o poco probables) ²⁾

CONDICIONES DE TRABAJO	AGENTE CLIMÁTICO PREDOMINANTE ³			AGENTES CLIMÁTICOS INDEPENDIENTES DEL PREDOMINANTE ⁴	
	Valor característico	Valor frecuente	Valor cuasi-permanente	Valor de combinación fundamental	Valor cuasi-permanente
Condiciones de trabajo Operativas (CT1)	Límites de operatividad establecidos ⁵			–	Probabilidad absoluta de no excedencia del 50% tomada del régimen medio ^{5, 6}
Condiciones de trabajo Extremas (CT2)	Periodo de retorno (T_R) de 50 años obtenido de la función de distribución de extremos marginal ⁶	–	–	Periodo de retorno (T_R) de 5 años obtenido de la función de distribución de extremos marginal, con las consideraciones señaladas en el texto para el caso de variables direccionales ⁶	–
Condiciones de trabajo Excepcionales debidas a la presentación de un agente climático de carácter extraordinario (CT3,1)	Periodo de retorno (T_R) de 500 años obtenido de la función de distribución de extremos marginal ⁶	–	–	Periodo de retorno (T_R) de 5 años obtenido de la función de distribución de extremos marginal, con las consideraciones señaladas en el texto para el caso de variables direccionales ⁶	–

Valores representativos de las variables de estado principales de los agentes climáticos (Para fase de servicio de obras definitivas) ¹⁾ para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo (combinaciones fundamentales o poco probables) ²⁾ (continuación)

CONDICIONES DE TRABAJO	AGENTE CLIMÁTICO PREDOMINANTE ³⁾			AGENTES CLIMÁTICOS INDEPENDIENTES DEL PREDOMINANTE ⁴⁾	
	Valor característico	Valor frecuente	Valor cuasi-permanente	Valor de combinación fundamental	Valor cuasi-permanente
Condiciones de trabajo Excepcionales debidas a la presencia de una acción accidental (CT3,2) ⁷⁾	–	Probabilidad absoluta de no excedencia del 85% tomada del régimen medio ⁶⁾	–	–	Probabilidad absoluta de no excedencia del 50% tomada del régimen medio ⁶⁾
Condiciones de trabajo Extremas o Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	–	–	Probabilidad absoluta de no excedencia del 50% tomada del régimen medio ⁶⁾	–	Probabilidad absoluta de no excedencia del 50% tomada del régimen medio ⁶⁾

Notas

- 1) Para estados o situaciones de proyecto transitorios, es decir aquellos que tienen corta duración respecto a la vida útil de la obra ya sea, entre otros, por causa de la geometría de la obra (fase de construcción), por las características del terreno (fase de consolidación o comportamiento drenado y no drenado del mismo) o por las acciones actuantes (cargas de uso y explotación diferentes en las fases de reparación y mantenimiento), en condiciones de trabajo extremas se adoptará como valor característico de la acción predominante el correspondiente a un periodo de retorno del mismo orden de magnitud que el de la duración de dicha fase para las situaciones transitorias prolongadas en relación con la duración de la fase de servicio y el doble de dicho valor para los casos de transitoriedad menos prolongada, con un valor mínimo de 2 años. En esos casos, para los agentes independientes se adoptará como valor representativo el correspondiente a un periodo de retorno de 1 año. En estas situaciones transitorias no se considerarán condiciones de trabajo excepcionales.
- 2) Para la verificación de modos de fallo en condiciones de trabajo extremas con probabilidades de fallo mayores o iguales al 5%, ver texto.
- 3) Los valores nominales o representativos compatibles de los agentes dependientes del agente predominante o del resto de agentes independientes se obtendrán a partir de los valores nominales o representativos de la variable principal del agente con el que están correlacionados a través de las correspondientes funciones de correlación, definidas de acuerdo con lo dispuesto en esta Recomendación.
- 4) La diferenciación entre agente predominante y otro agente climático se realiza únicamente en aquellos casos en que simplifícadamente puede considerarse que hay agentes climáticos independientes entre sí de actuación simultánea en el emplazamiento (Ver texto apartado 4.6.2.1).
- 5) Para cada condición de trabajo operativa, valores umbrales de los agentes climáticos adoptados como límites de operatividad que sean alcanzables en el emplazamiento. (probabilidad de presentación mayor 10^{-3}). Si no es así, ver texto. Para la definición de los valores representativos de los agentes climáticos dependientes de los predominantes o de los independientes de los predominantes, ver texto.
- 6) El proyectista evaluará la incertidumbre estadística asociada a los datos disponibles con los que se han estimado las funciones de distribución. Salvo justificación detallada, se tomarán como valores representativos, no los correspondientes a la estima central de las funciones de distribución, sino los valores extremos del intervalo de confianza del 90%.
- 7) Se adoptará como valor frecuente el correspondiente al agente climático que, en su caso, sea el predominante para la definición de la acción variable predominante para el modo de fallo. Para el resto de los agentes climáticos independientes o en los casos en los que ningún agente climático intervenga en la definición de la acción variable predominante para el modo de fallo se adoptará como valor representativo de los mismos el valor cuasi-permanente. Para los agentes climáticos dependientes de estos se adoptarán los valores de compatibilidad de acuerdo con lo dispuesto en esta Recomendación.

b) Para formulaciones probabilistas

Para las formulaciones probabilistas puede trabajarse únicamente con variables de estado o bien, dependiendo de la ecuación de verificación utilizada y de forma mucho más precisa, considerando además la variabilidad en cada estado de las variables básicas correspondientes a cada agente climático.

En la ecuación de verificación de un modo de fallo tanto adscrito a estados límites últimos como de servicio, los agentes climáticos se definen, siempre que se disponga de datos, a través de las funciones de distribución conjunta de las variables de estado que caracterizan a dichos agentes y que sean

relevantes para el modo de fallo o parada considerado en el emplazamiento, durante los diferentes ciclos de solicitud, y, en su caso, además por las funciones de distribución conjunta en cada estado de las variables básicas.

Para los ciclos de solicitud correspondientes a condiciones de trabajo extremas (CT2) y excepcionales (CT3,1) se utilizarán los regímenes extremos conjuntos de las variables de estado. No obstante, en ausencia de datos conjuntos será admisible utilizar los regímenes extremos marginales de la variable de estado considerada como principal correspondiente al agente predominante para el modo de fallo analizado; definiéndose el resto de variables, tanto del mismo agente como de otros agentes, correlacionadas con ésta a través de las funciones de distribución bivariadas con la variable principal durante el ciclo de solicitud por medio de las funciones de distribución de la variable correlacionada condicionada a cada valor y , en su caso, dirección de la variable principal (ver figura 4.6.2.1). En el caso de que por las condiciones del emplazamiento sea admisible considerar que algunos agentes climáticos no están correlacionados o presentan una débil dependencia entre sí es admisible utilizar los regímenes extremos marginales de las variables principales de los agentes que puedan considerarse independientes, conjuntamente con las funciones de distribución de las variables correlacionadas con cada uno de ellos condicionadas a cada valor y , en su caso, dirección de las mismas.

Para los ciclos de solicitud correspondientes a condiciones operativas (CT1) se utilizarán las funciones de distribución conjunta de clase centrada de las variables de estado (regímenes medios), truncadas por los límites de operatividad establecidos. En ausencia de datos conjuntos, fijado el valor umbral de la variable principal del agente predominante que condiciona la operatividad de la instalación, será admisible utilizar la función de distribución marginal de la variable principal del agente predominante truncada por el valor umbral de operatividad y las funciones de distribución de las variables dependientes de la misma, condicionadas al límite de operatividad establecido, así como los regímenes medios, en su caso truncados por los correspondiente límite de operación, de las variables principales de los agentes independientes del predominante y las funciones de distribución de las variables dependientes de estas últimas, condicionadas a cada valor de la misma. En el caso de que no se establezcan límites de operación para un agente o el Promotor considere que en la condición de trabajo considerada no se debe limitar la operatividad de la instalación para dicho agente, se utilizarán funciones de distribuciones extremas para dicho agente y para los agentes independientes de éste, truncadas estas últimas por los umbrales de operatividad establecidos, en su caso, para éstos, de forma equivalente a lo definido para condiciones de trabajo extremas y excepcionales.

Para los ciclos de solicitud correspondientes a condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental (CT3,2) o sísmica [(CT3,31) y (CT3,32)], se utilizarán los regímenes medios conjuntos de las acciones climáticas. No obstante, en ausencia de datos conjuntos será admisible utilizar los regímenes medios marginales de las variables de estado consideradas como principales de los agentes climáticos considerados independientes entre sí, definiéndose el resto de variables correlacionadas con éstos por medio de sus funciones de distribución condicionadas a cada valor y , en su caso, dirección de la variable principal.

Para la verificación probabilista de un modo de parada se utilizarán los diferentes regímenes medios conjuntos de las variables de los agentes climáticos dependientes entre sí cuyos valores umbral definen las diferentes causas de paralización asociadas con el modo, verificándose simultáneamente dichas causas de paralización para la obtención de la probabilidad de parada con el objeto de no duplicar la contribución a dicha probabilidad de causas de parada que ocurren simultáneamente con los mismos valores de los agentes climáticos.

La obtención de las funciones de distribución de los agentes climáticos necesarias tanto para las formulaciones probabilistas como para la definición de los valores representativos en las formulaciones semi-probabilistas podrá realizarse a partir de registros instrumentales en el emplazamiento en número de años suficiente y calidad contrastada. Para la obtención de los regímenes extremos se considerarán bien la serie de máximos anuales o bien los valores estadísticamente independientes que superan el

umbral que define el ciclo de sollicitación en condiciones extremas. En general, el ajuste de la muestra se realiza con funciones de Weibull, Gumbel o Frechet. Para la obtención de regímenes medios, el ajuste de la muestra se suele realizar con funciones log-normal o Weibull en función del agente. En la ROM 0.3, 0.4 y I se desarrollan más detalladamente las metodologías para la obtención de las funciones de distribución de los agentes climáticos.

En España, a falta de datos específicos en el emplazamiento en número y calidad contrastada, las diferentes funciones de distribución y los valores representativos correspondientes a los parámetros que caracterizan a los agentes climáticos pueden obtenerse a partir de la base de datos climáticos de Puertos del Estado, que incluye tanto datos instrumentales como información de procesos de retroanálisis. Asimismo, están disponibles las siguientes funciones de distribución:

- Regímenes marginales de velocidad del viento: ROM 0.4-95. Anejo I. Atlas de viento en el litoral español, así como en la página Web de Puertos del Estado (www.puertos.es)
- Regímenes marginales de altura de ola y funciones de correlación altura/periodo en aguas abiertas: nueva versión de la ROM 0.3, así como en la página Web de Puertos del Estado (www.puertos.es). Las funciones de distribución correspondientes a la altura de ola en el emplazamiento y en presencia de la obra podrá obtenerse a partir de estos regímenes, transfiriéndolos al emplazamiento por medio de uno o varios modelos numéricos o físicos de propagación del oleaje de validez reconocida para las condiciones físicas del emplazamiento, considerando el periodo del oleaje, los niveles de las aguas alto y bajo asociados a las mareas y corrientes fluviales y las corrientes compatibles (Ver ROM I.0).
- Regímenes marginales de niveles de mar asociados a mareas: Se incluirán en la nueva versión de la ROM 0.3. Hasta que este documento esté disponible, simplificada, podrán adoptarse los valores representativos estimados de los niveles de agua que se incluyen en la tabla 4.6.2.3. para los puertos españoles en los que hay información instrumental suficiente disponible ⁽¹⁶⁾.

4.6.2.1.1. FORMULACIÓN DE LAS ACCIONES DEBIDAS A LOS AGENTES CLIMÁTICOS

En ausencia de datos medidos, y siempre que se disponga de relaciones funcionales o fundamentos teóricos adecuados entre los parámetros representativos del agente a nivel de variables básicas o de estado y la acción debida al mismo, es admisible que los valores nominales o representativos de las acciones debidas directamente o bien generadas por los agentes climáticos, o sus funciones de distribución, puedan obtenerse o derivarse, respectivamente, a partir de los valores representativos de las funciones de distribución de los agentes climáticos que las causan o de sus propias funciones de distribución. En los casos en los que no se disponga de relaciones funcionales apropiadas para la precisión requerida de los cálculos, la acción se deberá obtener a partir del agente causante a través de técnicas numéricas o experimentales, en modelo físico o prototipo, de validez contrastada para la obra considerada.

Las acciones que solicitan a las obras de atraque y amarre debidas a la actuación de los agentes del medio y las relaciones funcionales con éstos que se consideran adecuadas son las siguientes:

a) Acciones debidas al viento ($Q_{fc,2}$)

Salvo en las obras de atraque y amarre flotantes, la acción del viento solicita a las estructuras de forma indirecta, actuando bien a través del buque atracado o amarrado, bien a través de las mercancías almacenadas y de los equipos e instalaciones de manipulación y transporte de dichas mercancías, así como de las edificaciones, depósitos o silos que eventualmente se ubiquen sobre su superficie. La acción del viento sobre dichas estructuras se detalla con carácter general en la ROM 0.4-95, así como en el apar-

(16) En aquellos puertos en que no esté disponible este tipo de información, el proyectista podrá adoptar los valores correspondientes a puertos próximos de la misma fachada, siempre que tengan similar marea astronómica. En los otros casos, los valores representativos de los niveles del mar asociados con mareas podrán estimarse del lado de la seguridad de acuerdo con lo recomendado en la tabla 3.3.1. de la ROM 0.5-05.

tado de esta ROM correspondiente a las acciones de uso y explotación, donde se dan criterios para su estimación y consideración a partir del parámetro velocidad del viento.

La acción directa del viento sobre una obra de atraque flotante puede considerarse representada por una fuerza total de arrastre horizontal (R_v) prácticamente estacionaria cuyo valor queda determinado por la siguiente formulación:

$$R_v = \frac{(C_{vx} \cdot \cos^2 \alpha \cdot A_{ex} + C_{vy} \cdot \sin^2 \alpha \cdot A_{ey})}{\cos(\phi - \alpha)} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot V_{v,t}^2$$

siendo:

- R_v : Fuerza total de arrastre resultante de la acción del viento sobre el flotador. La distancia del centro de gravedad al punto de aplicación (e) y la dirección de la fuerza resultante (ϕ) se determinarán de acuerdo con lo dispuesto en este apartado.
- e : Excentricidad de la resultante respecto del centro de gravedad del flotador, medida sobre el eje longitudinal del flotador (eje de simetría mayor). Con carácter general y a falta de datos o estudios específicos, para flotadores prácticamente simétricos aunque no con simetría radial puede tomarse como $0,1 \cdot b$, siendo b la dimensión de la sección longitudinal del flotador en la dirección del eje longitudinal. La excentricidad deberá considerarse que puede actuar en ambos sentidos con el objeto de tomar en consideración las diferentes posibilidades de distribución de la superestructura.
- ϕ : Ángulo formado entre el eje longitudinal del flotador y la dirección de actuación de la fuerza. Podrá aproximarse mediante la formulación siguiente:

$$\operatorname{tg} \phi = [A_{ey}/A_{ex}] \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

- α : Ángulo formado entre el eje longitudinal del flotador y la dirección de actuación del viento.
- C_{vx} : Factor adimensional de arrastre para el viento actuando en la dirección del eje longitudinal del flotador. Los valores de este factor pueden obtenerse en el apartado 3.2.2.8. de la ROM 0.4-95.
- C_{vy} : Factor adimensional de arrastre para el viento actuando en la dirección del eje transversal del flotador. Los valores de este factor pueden obtenerse en el apartado 3.2.2.8 de la ROM 0.4-95.
- A_{ex} : Área expuesta al viento de la proyección del flotador sobre un plano normal al eje longitudinal del flotador.
- A_{ey} : Área expuesta al viento de la proyección del flotador sobre un plano normal al eje transversal del flotador.
- ρ_a : Densidad del aire (Ver apartado 4.5)
- $V_{v,t}$: Velocidad horizontal máxima probable del viento, considerando un periodo de medición t , en función de las características del flotador (Ver tabla 4.6.2.1). Deberá tomarse la correspondiente a la altura del centro de gravedad de la sección expuesta al viento.

En cada estado, las acciones debidas al viento tendrán igual consideración que el agente causante. Por tanto, salvo en condiciones excepcionales no debidas a viento extraordinario tendrán el carácter de no permanentes o variables. No obstante lo anterior, en algunos casos, dependiendo de su escala de variabilidad, alguna de estas fuerzas puede ser considerada de carácter permanente en el estado meteorológico (p.e. fuerza total de arrastre resultante de la acción del viento sobre el flotador).

La formulación de las acciones debidas al viento incluidas en este apartado es aplicable únicamente a variables de estado.

En general no es esperable que se produzcan efectos dinámicos debidos a la acción del viento en estructuras de atraque y amarre, salvo en estructuras pilotadas situadas a grandes profundidades y con importantes francobordos (p.e. plataformas o celosías espaciales en mar abierto) y en los sistemas de amarre de estructuras flotantes en función de la distribución de las líneas de amarre, de la flexibilidad de la estructura de amarre y de las condiciones del oleaje. A su vez, buques de gran desplazamiento amarrados a estructuras muy flexibles y mediante líneas de amarre muy elásticas suelen presentar frecuencias

naturales de oscilación próximas a las frecuencias con valores energéticos significativos presentes en los estados de viento, por lo que son esperables efectos dinámicos significativos en las cargas de amarre transmitidas. La definición de la acción dinámica producida por el viento en estos casos se recoge en el apartado de esta ROM correspondiente a las acciones de uso y explotación (Ver apartado 4.6.4.4.7).

Tabla 4.6.2.3. Valores representativos estimados de los niveles de agua en puertos españoles respecto al nivel medio del mar, combinada marea astronómica-meteorológica (en m) ¹⁾

PUERTO	NIVEL DE LAS AGUAS	VALORES EXTREMALES			VALORES MEDIOS		Altura del Nivel Medio del Mar respecto del Cero del Puerto (m) ²⁾
		$T_R = 500$ años	$T_R = 50$ años	$T_R = 5$ años	Probabilidad de no excedencia del 85%	Probabilidad de no excedencia del 50%	
BILBAO	Nivel alto	+2,95	+2,88	+2,75	+1,92	+1,50	+2,40
	Nivel bajo	-2,85	-2,80	-2,70	-1,92	-1,50	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	4,94 (UA = 2,09)					
SANTANDER	Nivel alto	+2,95	+2,82	+2,70	+1,95	+1,52	+2,84
	Nivel bajo	-2,83	-2,76	-2,65	-1,95	-1,52	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	4,95 (UA = 2,10)					
GIJÓN	Nivel alto	+2,95	+2,85	+2,72	+1,92	+1,50	+2,72
	Nivel bajo	-2,82	-2,75	-2,63	-1,92	-1,50	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	4,83 (UA = 2,05)					
CORUÑA	Nivel alto	+3,00	+2,84	+2,70	+1,79	+1,39	+2,72
	Nivel bajo	-2,75	-2,69	-2,58	-1,79	-1,39	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	4,47 (UA = 1,89)					
VILAGARCÍA	Nivel alto	+3,15	+2,90	+2,70	+1,69	+1,31	+2,19
	Nivel bajo	-2,75	-2,65	-2,50	-1,69	-1,31	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	4,22 (UA = 1,79)					
VIGO	Nivel alto	+2,98	+2,74	+2,55	+1,68	+1,30	+2,06
	Nivel bajo	-2,44	-2,35	-2,23	-1,68	-1,30	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	4,19 (UA = 1,78)					
HUELVA (Mazagón)	Nivel alto	+3,50	+2,98	+2,50	+1,60	+1,25	+2,02
	Nivel bajo	-2,32	-2,25	-2,13	-1,60	-1,25	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	4,02 (UA = 1,70)					
SEVILLA (esclusa) ⁴⁾	Nivel alto	+6,75 ⁵⁾	+5,20 ⁵⁾	+4,60 ⁵⁾	+1,23	+0,96	+1,14
	Nivel bajo	-1,80	-1,75	-1,70	-1,23	-0,96	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	2,80 (UA = 1,19)					
BONANZA (Ría del Guadalquivir)	Nivel alto	+3,15	+2,75	+2,45	+1,48	+1,15	+1,71 ⁶⁾
	Nivel bajo	-1,95	-1,85	-1,75	-1,48	-1,15	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	3,46 (UA = 1,47)					

Valores representativos estimados de los niveles de agua en puertos españoles respecto al nivel medio del mar, combinada marea astronómica-meteorológica (en m) ¹⁾ (continuación)

PUERTO	NIVEL DE LAS AGUAS	VALORES EXTREMALES			VALORES MEDIOS		Altura del Nivel Medio del Mar respecto del Cero del Puerto (m) ²⁾
		$T_R = 500$ años	$T_R = 50$ años	$T_R = 5$ años	Probabilidad de no excedencia del 85%	Probabilidad de no excedencia del 50%	
MÁLAGA	Nivel alto	+1,07	+0,93	+0,80	+0,31	+0,24	+0,59
	Nivel bajo	-0,85	-0,80	-0,75	-0,31	-0,24	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	0,87 (UA = 0,37)					
VALENCIA	Nivel alto	+0,96	+0,85	+0,74	+0,16	+0,13	+0,07
	Nivel bajo	-0,78	-0,74	-0,70	-0,16	-0,13	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	0,41 (UA = 0,18)					
BARCELONA	Nivel alto	1,20	+0,99	+0,83	+0,17	+0,13	+0,26 ⁷⁾
	Nivel bajo	-0,63	-0,58	-0,55	-0,17	-0,13	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	0,44 (UA = 0,19)					
TENERIFE	Nivel alto	+1,85	+1,72	+1,62	+1,14	+0,89	+1,48
	Nivel bajo	-1,70	-1,61	-1,52	-1,14	-0,89	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	2,9 (UA = 1,23)					
LAS PALMAS	Nivel alto	+1,80	+1,71	+1,63	+1,18	+0,92	+1,39
	Nivel bajo	-1,75	-1,68	-1,60	-1,18	-0,92	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	3,01 (UA = 1,28)					

Notas

UA : Unidad de altura. Es la semiamplitud, en metros, de la media de las mareas astronómicas vivas equinocciales, a la que corresponde un coeficiente de marea C: 100. A la máxima marea astronómica viva equinoccial le corresponde un coeficiente 118.

1) Valores representativos obtenidos considerando el intervalo de confianza del 90%.

2) Nivel medio obtenido de datos registrados por la red de mareógrafos de puertos (REDMAR-Puertos del Estado).

3) Amplitud, en metros, de la máxima marea viva equinoccial.

4) En este caso, el nivel de referencia es el nivel medio del río con viento en calma. Se puede considerar que, dadas las condiciones de regulación del río Guadalquivir, el caudal medio coincide aproximadamente con el caudal mínimo ecológico establecido ($\approx 10 \text{ m}^3/\text{s}$).

5) Dada la gran influencia que el caudal del río tiene en los niveles altos extremos, los valores dependerán principalmente del régimen fluvial extremal en condiciones de régimen regulado. En crecidas extraordinarias ($T = 500$ años) el caudal del río en esta zona en condiciones reguladas es de $8,700 \text{ m}^3/\text{s}$. y en crecidas extremas ($T = 50$ años y 5 años) es de $6,200$ y $3,600 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Se puede estimar que aproximadamente el caudal fluvial influye aumentando la pleamar en $0,6 \text{ mm}$ y en 1 mm la bajamar por cada m^3/s .

6) Sobre el 0 del mareógrafo = cero hidrográfico.

7) Sobre el 0 del mareógrafo = cero de Alicante.

b) Acciones debidas a las corrientes ($Q_{f,e,5}$)

La acción de las corrientes sobre las obras de atraque y amarre se manifiesta de dos formas: una indirecta, actuando a través del buque durante el atraque o amarrado, y otra directa ejerciendo una fuerza sobre la propia estructura. La primera se detalla en el apartado de esta ROM correspondiente a las acciones de uso y explotación, donde se dan criterios para su estimación y consideración (Ver apartado 4.6.4.4).

La acción directa de la corriente sobre una obra de atraque y amarre fija puede descomponerse en dos fuerzas horizontales:

- ◆ Fuerza de arrastre (F_D), paralela a la dirección de la corriente.
- ◆ Fuerza transversal (F_L), perpendicular a la dirección de la corriente.

siendo:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_w A_L V_C^2$$

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho_w A_T V_C^2$$

donde:

- C_D : Coeficiente de arrastre (adimensional). Este coeficiente es variable con la forma de la estructura, su rugosidad, la dirección de la corriente y el número de Reynolds ($R_e = V_c \cdot D/\nu$) ⁽¹⁷⁾, el cual caracteriza el régimen del movimiento del agua en las proximidades de un obstáculo o de un límite sólido. Sus valores están comprendidos generalmente entre 0,6 y 2 para piezas prismáticas y entre 0,2 y 1,2 para piezas de sección circular, cuando el número de Reynolds está entre 10^3 y 10^5 . Para casos concretos puede consultarse su valor en ábacos y tablas existentes en la bibliografía especializada u obtenerse a través de ensayos en modelo físico. Para los casos más generales en obras de atraque y amarre, simplificadaamente pueden adoptarse los valores de la tabla 4.6.2.4.
- C_L : Coeficiente de fuerza transversal (adimensional). Este coeficiente depende de la forma de la estructura, la dirección de la corriente y el número de Reynolds.
- ρ_w : Densidad del agua (Ver apartado 4.5).
- A_L : Área de la estructura proyectada en la dirección de la corriente.
- A_T : Área de la estructura proyectada en la dirección perpendicular a la corriente. Los valores de A_L y A_T deben considerarse teniendo en cuenta el efecto de las posibles adherencias marinas (Ver apartado 4.6.1.2).
- V_C : Velocidad media del perfil de corriente (\bar{V}_c).

Estas fuerzas tendrán su punto de aplicación en el centro de gravedad del área de la estructura sumergida normal al flujo de corriente, afectada por la acción de la corriente. Es decir, como la fuerza resultante puede no pasar por el centro de gravedad de la estructura sino del área proyectada daría lugar a un momento resultante de torsión.

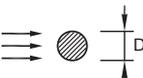
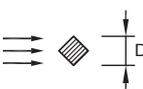
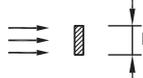
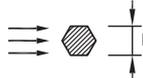
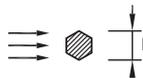
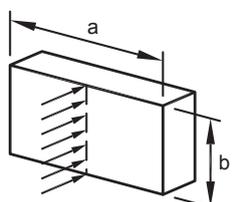
En general, en las obras de atraque y amarre la fuerza transversal debida a la acción de la corriente puede despreciarse. No obstante, en obras de pilotes muy esbeltos estas fuerzas pueden ser importantes cuando la frecuencia natural de la estructura se aproxima a la de los remolinos que se forman en los puntos de despegue de la estela generada por la interposición de la misma al flujo incidente (0,5 a 3,0 Hz), dando lugar a efectos dinámicos significativos. El estado más vulnerable suele ser en estos casos durante la fase constructiva, cuando los pilotes trabajan en voladizo, pudiendo llegar a ser necesario fijar la cabeza de los pilotes inmediatamente después de su hinca o fabricación. En todos los casos, este fenómeno resonante debe evitarse aumentando las condiciones de amortiguamiento de la estructura cuando la velocidad de la corriente supere un valor crítico, que puede aproximarse para pilotes circulares de diámetro D por $1,2f_N D$, siendo f_N la frecuencia natural de oscilación de la estructura. Para secciones no circulares puede, del lado de la seguridad, considerarse la misma fórmula adoptando como valor de D , la dimensión mayor en la dirección transversal a la dirección de la corriente.

La acción directa de la corriente sobre una obra de atraque flotante depende de muchos factores, entre otros, la velocidad y dirección de la corriente, la forma y rugosidad de la estructura, el área sumergida y, especialmente la proximidad al fondo, siendo muy difícil la sistematización de su valoración analítica. En

(17) D es la dimensión de la obra que mejor caracteriza la perturbación que produce ésta en el movimiento del agua. ν es la viscosidad (en m^2/s) cinemática (ver apartado 4.5).

ausencia de ensayos específicos en modelo físico o de resultados tabulados correspondientes a ensayos realizados en estructuras similares, simplificada podrá aproximarse por la formulación recomendada para el cálculo de fuerzas debidas a las corrientes sobre buques equiparables, incluida en el apartado de esta Recomendación correspondiente a las acciones de uso y explotación (apartado 4.6-4.4.7. Cargas de amarre). No obstante, en obras de atraque situadas en áreas exteriores o no abrigadas en las cuales la acción del oleaje es predominante, del lado de la seguridad es admisible calcular la fuerza de arrastre considerando un coeficiente $C_D = 1,00$ siempre que la profundidad sea mayor que 5 veces el calado del flotador. Para valores profundidad/calado < 5 dicho coeficiente puede alcanzar valores de hasta $C_D = 4,00$.

Tabla 4.6.2.4. Coeficientes de arrastre (C_D) para el cálculo de las fuerzas de arrastre debidas a la acción de la corriente ($10^3 < Re < 10^5$)

TIPO DE ESTRUCTURA		Área de la estructura en la dirección de la corriente (A_L)	Coeficiente de Arrastre (C_D)	
OBRAS DE ATRAQUE FIJAS ABIERTAS	Pilas o pilotes de sección circular		$D \cdot L$	1,00 ($L \gg D$) ¹
	Pilas o pilotes de secciones cuadradas		$D \cdot L$	2,00 ($L \gg D$)
			$D \cdot L$	1,60 ($L \gg D$)
	Pilas o pilotes de sección rectangular		$B \cdot L$	2,00 ($L \gg D$)
	Pilas o pilotes de secciones hexagonales		$D \cdot L$	2,00 ($L \gg D$)
			$D \cdot L$	2,00 ($L \gg D$)
	Pilas o pilotes de sección octogonal		$D \cdot L$	1,40 ($L \gg D$)
Pilas o pilotes de sección dodecagonal		$D \cdot L$	1,10 ($L \gg D$)	
OBRAS DE ATRAQUE FIJAS MASIVAS		$a \cdot b$	$a/b = 1 \rightarrow 1,12$ $a/b = 2 \rightarrow 1,15$ $a/b = 4 \rightarrow 1,19$ $a/b = 10 \rightarrow 1,29$ $a/b = 18 \rightarrow 1,40$ $a/b = \infty \rightarrow 2,00$	
Notas				
L : Longitud de la generatriz.				
1) Para rugosidades bajas con números de Reynolds $< 10^3$ los valores de C_D pueden oscilar entre 1 y 60.				

En cada estado, esta acción debida a corrientes se considerará de igual carácter que el agente causante. Por tanto, las acciones debidas a corrientes de marea o de regimenes fluviales en condiciones extremas y excepcionales se considerarán siempre de carácter permanente en el estado meteorológico.

c) Acciones debidas a los niveles de agua asociados a mareas y niveles fluviales ($Q_{fc,61}$)

Todas las superficies de las obras de atraque y amarre que se encuentren sumergidas estarán sometidas a presiones en la dirección normal a la superficie (u_w) asociadas con los niveles de agua debidos a mareas y regímenes fluviales, por oscilaciones marinas y fluviales de periodo largo (Ver figura 4.6.2.2). A su vez, los niveles de agua dan lugar en el terreno, en el cimiento y en los rellenos a presiones intersticiales (u_w) y, en su caso, a fuerzas de arrastre cuando existen gradientes de potencial ($I \cdot \gamma_w$), que deben tomarse en consideración para la verificación de la estabilidad del terreno y de la obra en función del método de cálculo utilizado. (Ver ROM 0.5-05).

Dichas presiones vendrán dadas por la expresión:

$$u_w = \gamma_w \cdot z$$

siendo z la altura del nivel piezométrico en el punto de determinación y γ_w el peso específico del agua. Dicho nivel coincidirá con el nivel de las aguas exteriores o el de saturación en terrenos naturales o rellenos (empujes hidrostáticos), salvo en aquéllos puntos en que sea relevante el amortiguamiento de la onda de marea (p.e. en cimientos o rellenos poco permeables) o se considere significativa la existencia de procesos de filtración (p.e. por existir desniveles trasdós-intradós) o de procesos de consolidación. En estos casos, las presiones intersticiales podrán obtenerse analizando según cada caso, respectivamente, la forma en que se amortigua la onda de marea a través de modelos que reproduzcan el flujo en el medio poroso (ver apartado 3.4.11 de la ROM 0.5-05), estableciendo la correspondiente red de filtración cuando sea admisible considerar flujo estacionario o cuasi-estacionario o analizando la existencia de un proceso de consolidación (ver apartado 3.4.4 de la ROM 0.5-05). La metodología general para la cuantificación de los procesos de amortiguamiento o penetración de las diferentes oscilaciones del mar en el medio poroso aplicado a las obras de atraque y amarre se desarrolla en la figura 4.6.2.2 y en las tablas 4.6.2.6 y 4.6.2.7, al ser aplicable la misma metodología tanto a las oscilaciones marinas de periodo corto (oleaje) como a las de periodo largo (mareas) e intermedio (ondas largas). A su vez, en las sucesivas Recomendaciones de la Serie 2 correspondientes a cada tipología de atraque se desarrollarán las distribuciones de empujes a considerar en condiciones usuales.

Como puede observarse en los ejemplos incluidos en la figura 4.6.2.2, la onda de marea astronómica o meteorológica se amortigua en terrenos naturales, en una banqueta o en un relleno cuando se comportan como total o parcialmente drenados, a una distancia (L_{at}) que depende fundamentalmente de las características de permeabilidad y deformabilidad del mismo; es decir, de su capacidad de drenaje en relación con el periodo de la marea. Por tanto, a partir de una cierta profundidad en el terreno de cimentación o distancia en el caso de las banquetas o rellenos, las presiones intersticiales se estabilizan en la presión hidrostática correspondiente al nivel medio. De acuerdo con la formulación generalmente aceptada (ver fórmulas de la figura 4.6.2.2), en terrenos de cimentación alejados de la obra de atraque, formados por arenas finas ($k \cong 10^{-5} \text{ m/s}$ y $c_v \cong 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$) esta profundidad puede ser del orden de 8-10 m, siendo mayor en terrenos más permeables. Cuando estos terrenos se comportan frente a la marea como totalmente drenados puede considerarse que la evolución de las presiones intersticiales se reproduce enteramente y sin desfase.

Por dichas razones, en obras de gravedad (ver ejemplo I de la figura 4.6.2.2) puede considerarse que, dadas las dimensiones y las características de las banquetas de cimentación de dichas obras, en general de escollera o todo uno con una alta permeabilidad ($k > 10^{-3} \text{ m/s}$) y con coeficientes de consolidación $c_v > 10 \text{ m}^2/\text{s}$, el tiempo necesario para su completo drenaje es menor que el periodo de la onda de marea astronómica o meteorológica, por lo que es capaz de transmitir completamente los niveles de marea, produciéndose, en su caso, el amortiguamiento de la onda de marea de forma completa o incompleta en el relleno de trasdós dependiendo de la permeabilidad y demás características de dicho relleno. En estos casos la distribución de subpresiones en la base de la obra puede considerarse prácticamente homogénea. A su vez, en el caso de que se produzca amortiguamiento de la onda de marea en el trasdós, la ley de empujes en dicha zona es curva. A medida que avanza la profundidad, la ley se aparta de la hidrostática hasta alcanzar el valor de la subpresión en la base antes mencionado. Esta ley curva puede aproximarse resolviendo el problema de flujo estacionario con los desniveles trasdós-intradós considerados (Ver ROM 0.5-05).

En el caso del muelle de pantallas (ver ejemplo 2 de la figura 4.6.2.2) es un caso concreto en el que el terreno inferior, donde se empotra la pantalla, es prácticamente impermeable cuando se compara con el terreno superior del trasdós. El cálculo de las presiones intersticiales en estas pantallas es complejo y necesita considerar varias situaciones que pueden tener como referencia la situación de flujo estacionario correspondiente (ver figura 3.4.3 de la ROM 0.5-05). Para considerar el efecto del amortiguamiento de la onda de marea se puede añadir a las presiones en el extremo inferior de la pantalla obtenidas a través de la consideración de flujo estacionario, y a ambos lados de la misma, la presión intersticial adicional definida para el “campo libre” (Δu_m). Puede considerarse que este incremento (o decremento) varía linealmente desde el extremo inferior de la pantalla hasta la zona superior de cada lado, donde el nivel piezométrico es constante (Ver figura 4.6.2.2).

Para la determinación de los niveles de saturación compatibles a considerar en los rellenos y terrenos naturales en el trasdós de la obra de atraque deberá analizarse la posibilidad de que se produzcan desfases entre dichos niveles y los de las aguas exteriores por la capacidad de la obra en su conjunto de amortiguar o no la onda de marea o los ciclos fluviales, así como de evacuar los flujos de agua que se generan. Estos desfases dependerán fundamentalmente de las características de variabilidad de las mareas y niveles fluviales y de las dimensiones de la obra, así como de las características de permeabilidad, porosidad y deformabilidad del cimientado, del terreno natural, del relleno y de la obra. En el apartado 3.4.4.1 de la ROM 0.5-05 se dan indicaciones simplificadas sobre los desniveles a considerar, a falta de análisis más precisos por medio de modelos adecuados o medidas experimentales. A falta de otros datos y a los efectos de la completa definición de la línea de saturación en rellenos y terrenos naturales a partir de los niveles definidos en el trasdós, puede considerarse, en el caso que sea desfavorable para el modo de fallo analizado, que los niveles de agua se estabilizan a distancias muy alejadas del trasdós de la estructura. En ningún caso se considerarán distancias menores de 20 m. El nivel de estabilización puede considerarse igual al nivel medio del mar + 0,3 m en mares con marea astronómica significativa y en el nivel medio del mar en mares sin marea astronómica significativa, siempre y cuando no haya aportaciones freáticas desde el lado tierra.

En cada estado, esta acción se considerará de carácter permanente al igual que el agente causante.

d) Acciones debidas al oleaje ($Q_{fe,63}$)

La acción del oleaje sobre las obras de atraque y amarre se manifiesta de dos formas: una indirecta, actuando a través del buque durante el atraque o amarrado, y otra directa ejerciendo fuerzas sobre la propia estructura. La primera se detalla en el apartado de esta ROM correspondiente a las acciones de uso y explotación, donde se dan criterios para su estimación y consideración (Ver apartado 4.6.4.4).

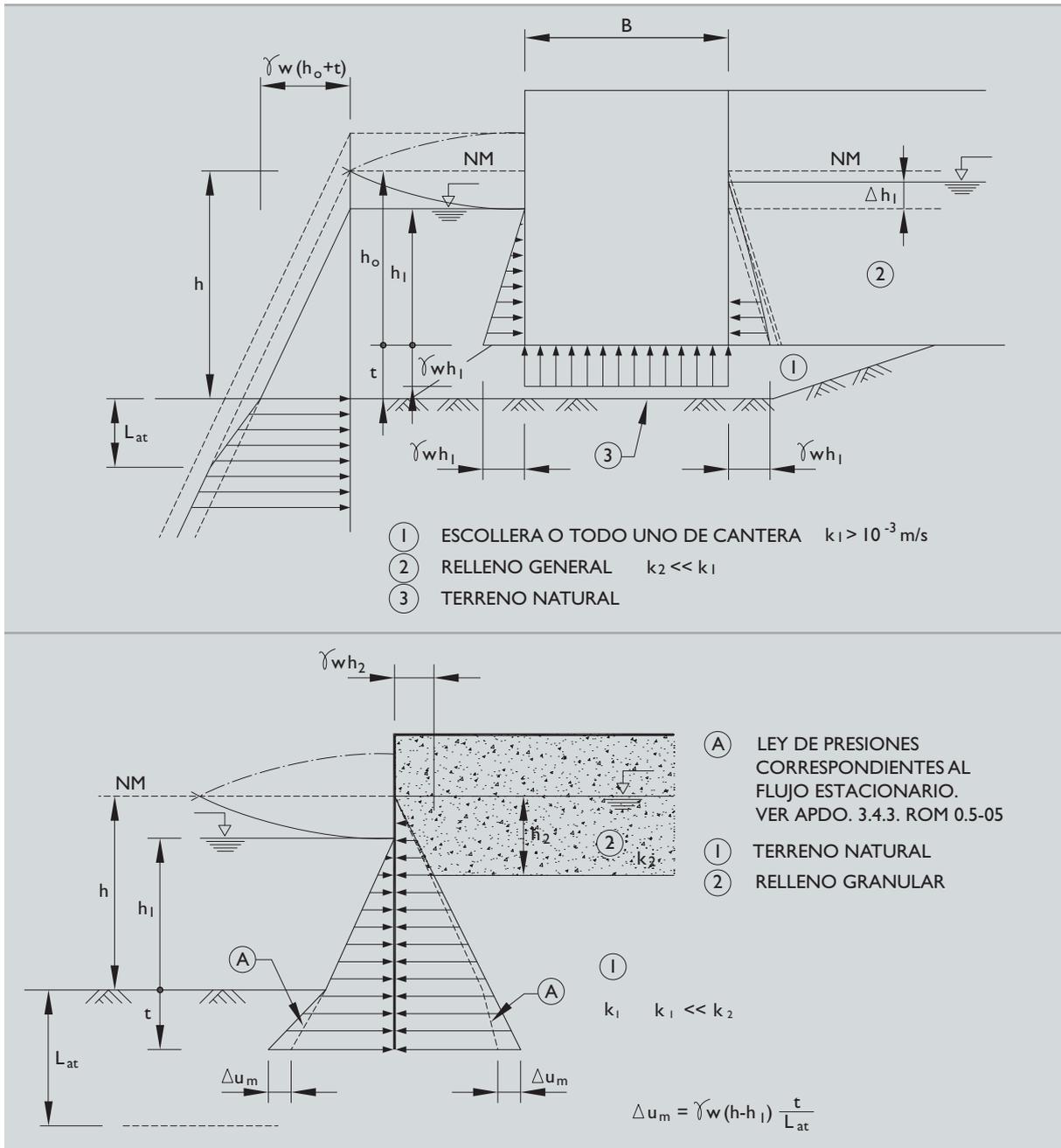
A su vez, el oleaje puede generar en el terreno o en los rellenos modificaciones en las presiones totales y en las presiones intersticiales que deben analizarse y, en su caso, tomarse en consideración para la verificación de la estabilidad del terreno y de la obra de acuerdo con lo previsto en la ROM 0.5-05 y en esta Recomendación (Tablas 4.6.2.6 y 4.6.2.7).

Las acciones y demás efectos directos debidos al oleaje no dependen únicamente de las características propias del oleaje incidente (altura, periodo y dirección) sino también de la tipología y dimensiones de la estructura y del régimen hidráulico en el emplazamiento resultante de la interacción del oleaje con la estructura, así como, en su caso, de las características del terreno. Debido a ello, la definición de las acciones se realiza de forma diferente en función de las condiciones que presenten dichos factores. A estos efectos, se considerará suficientemente válida la aplicación de la teoría lineal del oleaje para obras de atraque y amarre situadas en zonas relativamente protegidas. Cuando se presenten olas muy peraltadas, normalmente asociadas a zonas más expuestas, se aplicarán teorías de orden superior (ver figura 4.6.2.5). La aplicación detallada de estas teorías se desarrolla en la ROM 1.0.

La acción directa del oleaje sobre la obra de atraque y amarre se puede descomponer en tres grupos de fuerzas hidrodinámicas:

- ◆ Fuerzas de difracción, debidas a la modificación del tren de ondas por la presencia de la obra.
- ◆ Fuerzas de arrastre, inercia y sustentación, debidas a la velocidad y aceleración relativas del movimiento del agua con respecto al movimiento de la estructura.
- ◆ Fuerzas debidas, en su caso, al movimiento propio de la estructura (teniendo en cuenta la radiación de ondas por ello).

Figura 4.6.2.2. Acciones debidas a los niveles de agua asociados a mareas y niveles fluviales. Ejemplos en obras de gravedad y pantallas 1) 2) 3)



Notas

1) Los ejemplos se corresponden con situaciones de nivel bajo de las aguas, lo que no significa que siempre esta situación sea la más desfavorable para todos los modos de fallo. Debe comprobarse también la situación de niveles altos de las aguas.

Acciones debidas a los niveles de agua asociados a mareas y niveles fluviales. Ejemplos en obras de gravedad y pantallas 1) 2) 3) (continuación)

Notas

- 2) La Ley de presiones intersticiales en el terreno natural incluida en las figuras se corresponde con situación de "campo libre"; es decir, en zonas suficientemente alejadas de la obra de atraque. Esta ley cambia a medida que el plano vertical en consideración se aproxima a la obra de atraque por la influencia de la misma. Simplificadamente, en el terreno bajo el relleno del trasdós se puede considerar que es una continuación de la ley propuesta para el relleno. Asimismo, a los efectos de la verificación de los modos de fallo geotécnicos es admisible considerar en las zonas próximas a la obra que la ley de presiones intersticiales en el terreno de cimentación es igual a la media de la estimada para el suelo bajo el fondo del relleno y bajo el fondo en "campo libre".
- 3) En ambas figuras puede aceptarse la simplificación de suponer que el amortiguamiento de la onda de marea crea en el terreno de cimentación en "campo libre", en el momento de la bajamar, un gradiente vertical constante de flujo ascendente igual a la semiamplitud de la onda de marea dividida por la profundidad de atenuación de dicha onda de marea [$I_v = (h-h_1)/L_{at}$]. En el caso del muelle de pantalla incluido en esta figura, si el terreno natural es poco permeable ($k < 10^{-6} \text{ m/s}$) y con la compresibilidad usual del esqueleto sólido de suelos impermeables, pueden resultar valores de la variable L_{at} menores que la longitud de hinca, t . En estos casos puede tomarse simplificadamente $L_{at} = t$, comprobando además la estabilidad de la obra en condiciones no drenadas.

Leyenda

- L_{at} : profundidad o distancia de atenuación de la onda de marea en un terreno, banqueta o relleno.
 T_{onda} : periodo de la onda.
 H_{onda} : amplitud de la onda.
 L_{onda} : longitud de la onda.
 D : distancia más larga hasta el drenaje (en el caso del terreno es la profundidad del punto en cuestión bajo el fondo del mar si el estrato es de gran espesor o tiene un límite inferior impermeable. En el caso de que drene por ambas caras será la distancia más larga hasta el drenaje; es decir no mayor que la mitad del espesor del estrato). En el caso de que la formulación se aplique a oscilaciones del mar de periodo intermedio (ondas largas), esta distancia nunca se adoptará mayor de $L_{onda}/2\pi$.
 h : altura del nivel medio del mar sobre el terreno de cimentación.
 k : coeficiente de permeabilidad del terreno de cimentación.
 n : porosidad del terreno de cimentación.
 c_v : coeficiente de consolidación del terreno de cimentación.

- a) Terreno con comportamiento totalmente drenado frente a la marea. La evolución de las presiones intersticiales se reproduce enteramente y sin desfase. La ley de presiones en el terreno se obtendrá estableciendo la correspondiente red de filtración en condiciones de flujo estacionario.

$$T_{onda} > \max \left[\frac{\pi n D^2}{hk}, \frac{\pi D^2}{c_v} \right]$$

- b) Terreno con comportamiento parcialmente drenado frente a la marea

$$0,01 \left[\frac{\pi n D^2}{hk}, \frac{\pi D^2}{c_v} \right] < T_{onda} < \left[\frac{\pi n D^2}{hk}, \frac{\pi D^2}{c_v} \right]$$

$$L_{at} = \min \left[\sqrt{\frac{T_{onda} \cdot h \cdot k}{\pi \cdot n}}, \sqrt{\frac{T_{onda} \cdot c_v}{\pi}} \right] \leq \frac{L_{onda}}{2\pi}$$

- c) Terreno con comportamiento no drenado frente a la marea. La definición de las presiones intersticiales instantáneas está sometida a grandes incertidumbres. En estas zonas se recomienda trabajar en tensiones totales, considerando una presión en el fondo igual a

$$T_{onda} < 0,01 \left[\frac{\pi n D^2}{hk}, \frac{\pi D^2}{c_v} \right]$$

$$\gamma_w \left[h \pm \frac{H}{2} \right],$$

en función de considerar paso de cresta o paso de seno.

Las fuerzas predominantes en cada caso dependen principalmente del número de Keulegan-Carpenter [$KC = uT/D \equiv \pi H/D$, si u es el módulo de la velocidad lineal en el nivel medio] y del parámetro de difracción [$[\Pi_D = \pi D/L]$, siendo D la dimensión horizontal frontal de la estructura perpendicular a la dirección de actuación del oleaje, u una velocidad representativa del flujo hidrodinámico y H , T y L , los parámetros

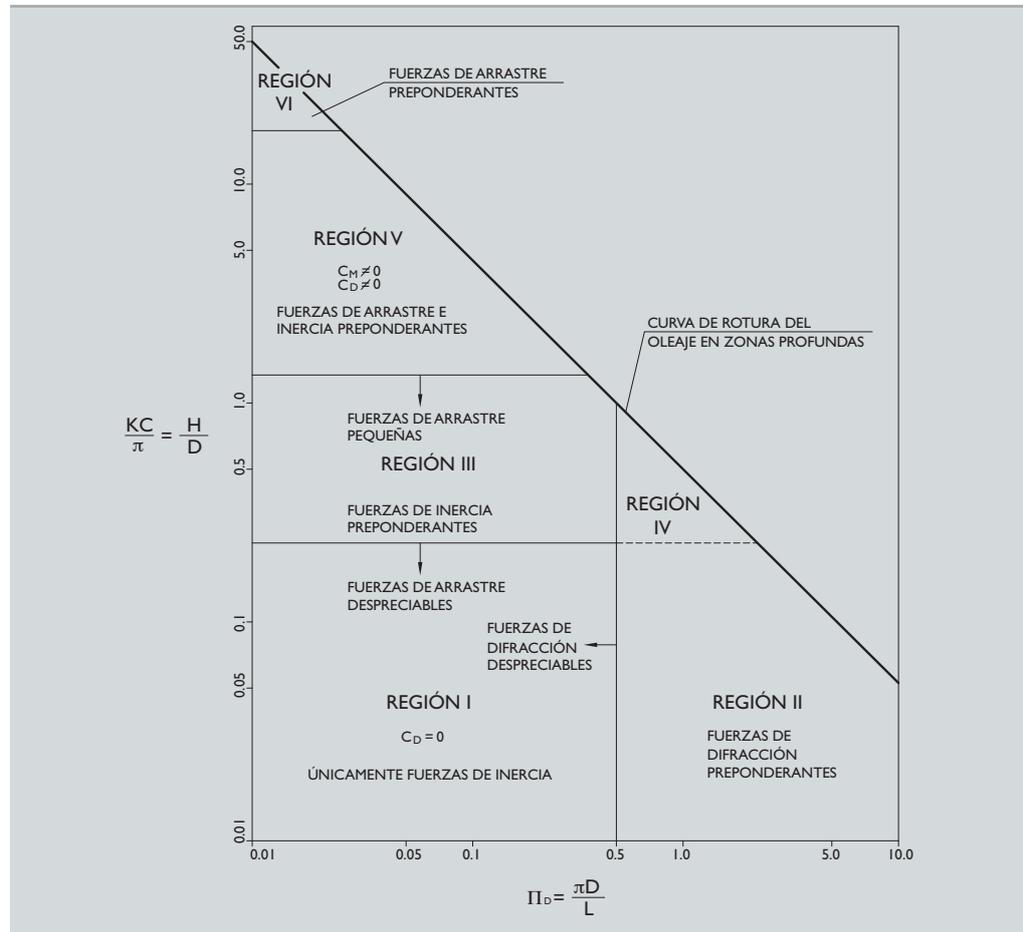
altura, periodo y longitud de onda respectivamente ⁽¹⁸⁾. En la figura 4.6.2.3 se representan los dominios de preponderancia de cada una de las fuerzas en función de los valores de los parámetros KC y Π_D .

d₁) Obras de atraque fijas en las que las fuerzas de difracción son preponderantes ($\Pi_D > 0,5$ y $KC < 0,8$. Región II, figura 4.6.2.3)

d₁₁) OBRAS DE ATRAQUE FIJAS CERRADAS CON $D \gg L$

Se consideran en este apartado las obras opacas a la propagación del oleaje, de dimensión horizontal frontal (D) relativamente importante respecto a la longitud de onda (L) del oleaje (Ver nota 18), sin que exista acoplamiento entre las leyes de presiones a barlomar y sotamar. Dichas obras pueden ser total ($C_r = 1$) o parcialmente ($C_r < 1$) reflejantes. En general, las obras de atraque y amarre que responden a estos parámetros son los muelles y los pantalanes continuos. Las acciones del oleaje sobre este tipo de obras se definen a continuación, diferenciándose en función de las características del oleaje en el emplazamiento y de su interacción con la estructura.

Figura 4.6.2.3. Dominios de preponderancia de las fuerzas hidrodinámicas del oleaje sobre las obras de atraque y amarre



(18) Cuando se trabaje con variables de estado, se considerará H la altura de ola máxima (H_{max}), T el periodo medio del oleaje (\bar{T}) y L la longitud de onda asociada al periodo medio del oleaje ($\bar{L} = [8(\bar{T})^2 / 2\pi] \tanh[2\pi h / \bar{L}]$). En profundidades reducidas [$h < (1/20)\bar{L}$] puede tomarse aproximadamente: $\bar{L} \approx \sqrt{g\bar{T}}$. En casos en que el terreno natural se comporte como total o parcialmente drenado frente a la acción del oleaje (situaciones 1 y 2 de la tabla 4.6.2.6), para la definición de L mediante la formulación consignada deberá tomarse en consideración cuando sea relevante la profundidad en la que se produce el amortiguamiento del oleaje en terreno natural (tabla 4.6.2.6), adoptándose como nueva h (h') la distancia entre nivel medio del mar y profundidad de amortiguamiento de la onda ($h + L_{at}$).

Dada la magnitud de las acciones resultantes cuando las obras de atraque se sitúan en emplazamientos muy expuestos a la acción del oleaje, en general en estos casos las tipologías fijas cerradas no son recomendables por criterios económicos, al dar lugar a diseños muy robustos capaces de resistir los importantes esfuerzos que se producen sobre las mismas. Para estos casos son más recomendables las tipologías abiertas o flotantes, mucho más permeables a la acción del oleaje.

- ◆ *Sobre obras de atraque en situación no rebasable, cuando pueda admitirse que se comportan como totalmente reflejantes, con paramentos exteriores verticales o casi verticales para oleaje incidente ⁽¹⁹⁾ y oleaje compuesto resultante ambos sin rotura ($H_{max,I} < 0,9 h$ y $H_{max,C} < 1,36 h$).*

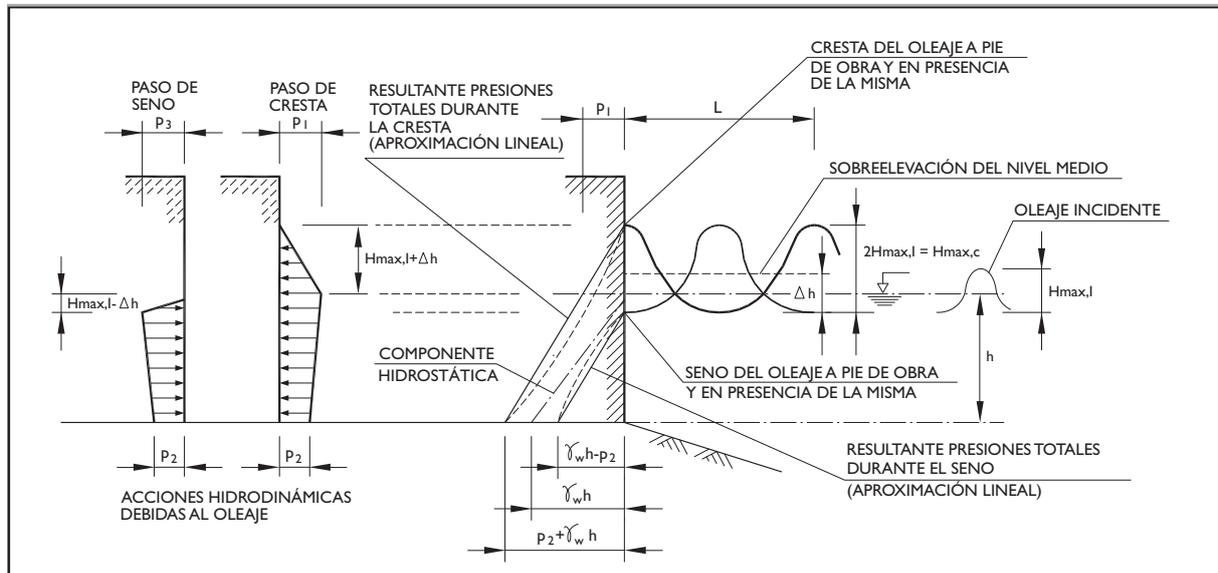
Sobre obras que puedan considerarse como totalmente reflejantes, la acción del oleaje podrá aproximarse a partir de las siguientes presiones, depresiones y subpresiones en dirección normal a la superficie:

- En ausencia de técnicas numéricas o experimentales más precisas, pueden adoptarse las presiones y depresiones sobre los paramentos exteriores que se recogen en la tabla 4.6.2.5. cuando pueda admitirse que la influencia del oleaje no alcanza al trasdós de la obra ⁽²⁰⁾.
- Las presiones y depresiones sobre los paramentos enterrados en las obras de pantallas y recintos dependen de la distribución de presiones intersticiales que se generan en el fondo marino por la acción del oleaje, las cuales son función de la deformabilidad y permeabilidad del terreno y, por tanto, de la capacidad de drenaje del mismo en relación con el periodo del oleaje actuante (Ver apartado 3.4.11 y 3.10.1 de la ROM 0.5-05). A falta de modelos analíticos o numéricos más complejos que analicen el flujo a través de medios porosos o mediante su observación en modelo físico o prototipo, de acuerdo con las soluciones simplificadas admitidas en dicha ROM 0.5-05, las presiones y depresiones sobre paramentos enterrados, así como las presiones intersticiales y, en su caso, las fuerzas de arrastre generadas por el oleaje en el terreno, pueden aproximarse para el paramento de intradós en los casos más generales a partir de las formulaciones recogidas en la tabla 4.6.2.6, cuando pueda admitirse que la transmisión del oleaje en el trasdós de la obra no es relevante (Ver nota 19). Como puede obtenerse de la aplicación de dicha tabla, para suelos arenosos limpios la zona en la que se produce el amortiguamiento del oleaje (con periodos medios del oleaje incidente (T_{oleaje}) en el rango de 10-12 s) es del orden de 3 metros. Para terrenos limo-arenosos puede reducirse a 0,5 m. Para oleajes con periodos mayores dicha distancia aumenta.
- Las presiones y depresiones que actúan sobre la base de las obras de gravedad dependen directamente de las presiones intersticiales que se generan en la banqueta de cimentación por la propagación a través de la misma del oleaje, pudiéndose despreciar en este tipo de obras cuando están trasdosadas la influencia de los movimientos de la estructura. Al igual que se ha señalado en el apartado anterior para

(19) Se considera oleaje incidente el que se produce en el emplazamiento y en presencia de la obra, a una distancia de la misma en la que los efectos debidos a la reflexión producida por dicha obra no son significativos. Simplificadamente, para situaciones totalmente reflejantes puede considerarse que la altura de ola incidente equivalente tiene un valor mitad de la altura de ola a pie de obra (H_C), aunque puede ser mayor cuando el encuentro entre el oleaje incidente y reflejado es oblicuo, ya que en estos casos la amplitud del movimiento vertical del oleaje compuesto decrece con el ángulo entre crestas.

(20) Con las dimensiones usuales de los muelles y pantallanes continuos de gravedad y de sus banquetas de cimentación (de pequeño espesor en relación con la altura sumergida de la estructura), incluso cuando estas últimas tengan una alta permeabilidad (p.e. escolleras o todo uno), puede considerarse que es despreciable la transmisión del oleaje al trasdós de la estructura, comportándose como totalmente reflejante. Así mismo, en los muelles de pantallas puede admitirse que, dadas las longitudes necesarias de hinca y las características de los suelos para los que esta solución está particularmente indicada, generalmente tampoco se produce transmisión del oleaje al trasdós de la estructura. En aquellos casos en los que se considere que las presiones hidrodinámicas en la punta de la pantalla o recinto son significativas, las presiones hidrodinámicas en el trasdós podrán estimarse a partir del análisis de la red de filtración en esa zona considerando condiciones de flujo estacionario desde la punta de la pantalla.

Tabla 4.6.2.5. Acciones de oleaje sin rotura sobre los paramentos exteriores de obras lineales de atraque fijas cerradas, totalmente reflejantes y no rebasables 1) 2) 3)



Notas

- 1) Cuando pueda considerarse que no se produce transmisión del oleaje en el trasdós de la obra.
- 2) Se recomienda el modelo de Sainflou (1928) por las siguientes razones:
 - En general las obras de atraque y amarre, lineales, fijas y cerradas aunque estén situadas en áreas exteriores o no abrigadas frente al oleaje suelen diseñarse como no rebasables debido a la existencia de rellenos en el trasdós, así como a los requerimientos de explotación (almacenamiento de mercancías, disposición de equipos e instalaciones de manipulación de mercancías fijas o de movilidad restringida no removibles, ...), encontrándose ubicadas normalmente en zonas próximas a la costa, en aguas no muy profundas y sometidas a oleajes muy modificados, en particular por fenómenos de difracción y reflexión producidos por otras infraestructuras portuarias, en los que difícilmente se alcanzan condiciones de rotura, que hacen que el oleaje en el emplazamiento y en presencia de la obra sea un complejo fenómeno de agitación sin una dirección incidente dominante, resultado de varias olas incidentes con diferente orientación. Así mismo dadas las características y dimensiones de las banquetas de cimentación pueden considerarse que estas obras se comportan como totalmente reflejantes. En estas condiciones, otras fórmulas (p.e. Goda) tienen un rango de aplicabilidad mucho más limitado. Por otra parte, la fórmula de Sainflou es la que mejor reproduce las depresiones que se producen durante el paso del seno de la ola, situación que, en la mayor parte de los casos, es la crítica para la estabilidad de obras de atraque fijas cerradas con explanada en el trasdós.
 - La recomendación de este método se establece sin perjuicio de poder utilizar otra formulación recomendada para los diques de abrigo verticales, siempre que la obra de atraque esté muy desabrigada y sometida a oleajes incidentes menos modificados que los anteriormente señalados (Ver ROM 1.0.)
 - Rango de validez recomendado para el Modelo de Sainflou:
 - Fondo horizontal o pendiente muy tendida ($\text{tg } \alpha < 1/50$)
 - Cualquier dirección de incidencia
 - Peralte reducido: $H_{max,I}/L < 0,06$
 - Profundidades relativas reducidas e intermedias con $h/L < 0,25$
- 3) Se recomienda que las acciones resultantes obtenidas directa o indirectamente (p.e. subpresiones) a partir de la integración de las presiones definidas a través del modelo de Sainflou se multipliquen por un factor 1,25 cuando sean desfavorables con el objeto de tener en cuenta las incertidumbres asociadas a este modelo de cálculo.

Leyenda

$$\Delta h = \frac{\pi H_{max,I}^2}{L} \coth\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$$

$$P_1 = (P_2 + \gamma_w h) \frac{H_{max,I} + \Delta h}{H_{max,I} + \Delta h + h}$$

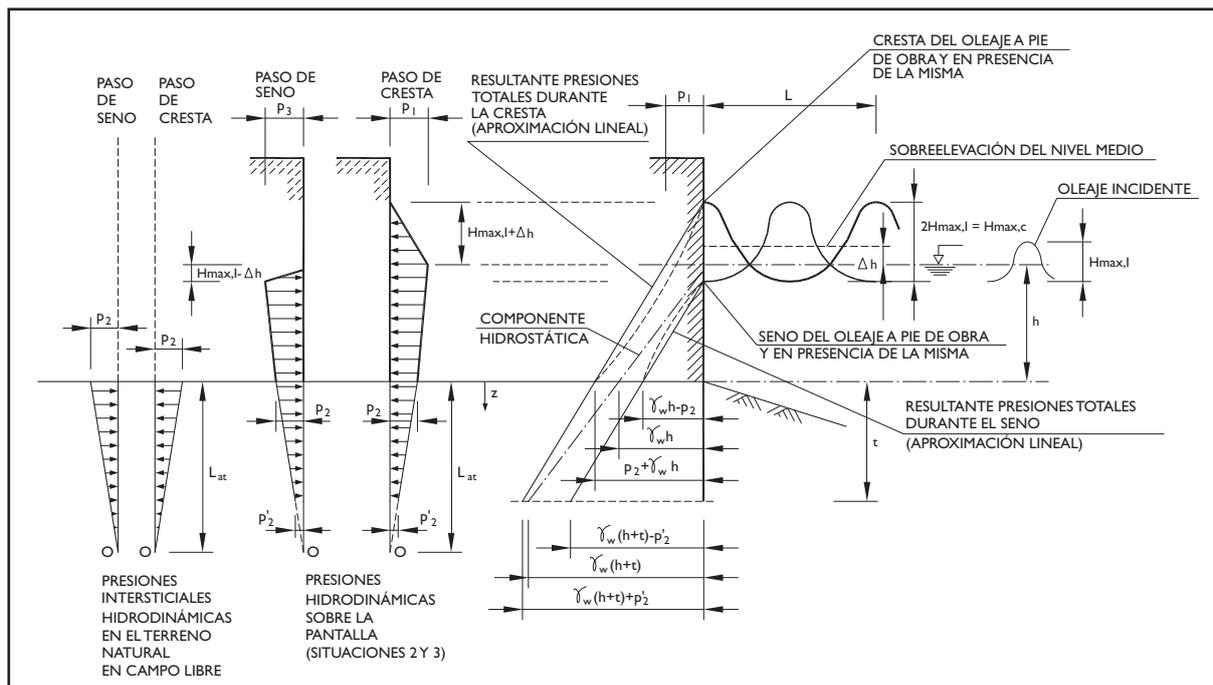
$$P_2 = \frac{\gamma_w H_{max,I}}{\cosh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)}$$

$$P_3 = \gamma_w (H_{max,I} - \Delta h)$$

presiones o depresiones sobre paramentos enterrados, estas presiones y subpresiones dependen de la permeabilidad y deformabilidad de la banqueta y de sus dimensiones y, por tanto, de su capacidad de drenaje en relación con el periodo del oleaje actuante (Ver apartado 3.4.11 y 3.10.1 de la ROM 0.5-05.). En banquetas de escollera y de todo uno de cantera limpio puede considerarse que el tiempo necesario para el drenaje es menor que los periodos del oleaje (situación 1 de la tabla 4.6.2.6), por lo que las presiones intersticiales podrán obtenerse estableciendo la correspondiente red de filtración en condiciones de flujo estacionario. Por tanto, en estos casos, si consideramos que no se produce o no es relevante la transmisión de oleaje en el relleno de trasdós será admisible considerar leyes triangulares de distribución de las presiones hidrodinámicas sobre la base, extendiéndose a la totalidad de la misma (Ver tabla 4.6.2.7) y una fuerza de arrastre asociada a dicha distribución. Por el contrario, si las banquetas se realizan con materiales menos permeables (p.e. todo uno con alto porcentaje de finos), deberá comprobarse la distancia de penetración de las presiones en la banqueta de acuerdo con la formulación recogida en la tabla 4.6.2.7.

- Para la definición del comportamiento, así como de las presiones intersticiales en el terreno natural y las presiones hidrodinámicas que actúan en el fondo del mar en las proximidades de la obra o en la superficie de las coronaciones o taludes de las banquetas externas a la base de la misma debidas al oleaje se tomará en consideración lo establecido al respecto en los apartados 3.4.11 y 3.10.1 de la ROM 0.5-05, así como en las tablas 4.6.2.6 y 4.6.2.9 de esta Recomendación, respectivamente. Para la obtención de las presiones hidrodinámicas bajo las banquetas de cimentación de obras de gravedad, en el punto de contacto con el terreno natural es admisible considerar una distribución hidrostática en dirección vertical de las subpresiones hidrodinámicas definidas para la base de la obra (ver tabla 4.6.2.7). Bajo el relleno de trasdós se considerará que no se producen presiones intersticiales hidrodinámicas.

Tabla 4.6.2.6. Acciones del oleaje sin rotura sobre los parámetros de intradós enterrados en las obras lineales de pantallas o recintos totalmente reflejantes y no rebasables



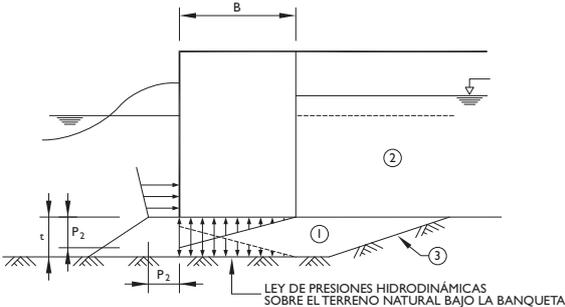
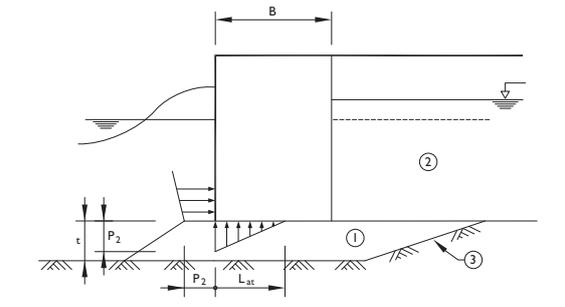
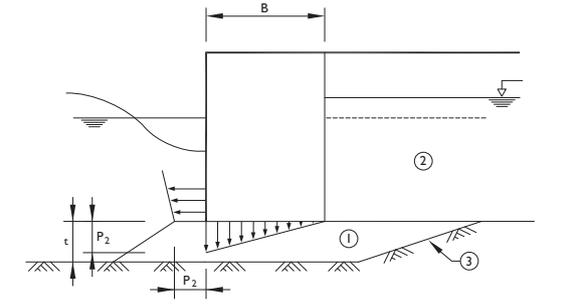
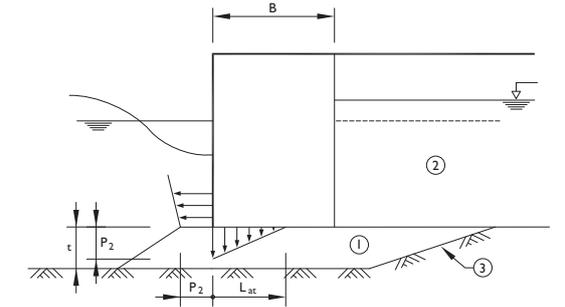
Acciones del oleaje sin rotura sobre los parámetros de intradós enterrados en las obras lineales de pantallas o recintos totalmente reflejantes y no rebasables (continuación)

<p align="center">SITUACIÓN 1</p> $T_{oleaje} > \max \left[\frac{\pi n B^2}{t k_1}, \frac{\pi B^2}{c_{v1}} \right]$ <p align="center">(terreno con comportamiento totalmente drenado frente al oleaje)</p>	<p align="center">SITUACIÓN 2</p> $0,01 \left[\frac{\pi n B^2}{t k_1} \text{ ó } \frac{\pi B^2}{c_{v1}} \right] < T_{oleaje} < \left[\frac{\pi n B^2}{h k} \text{ ó } \frac{\pi B^2}{c_{v1}} \right]$ <p align="center">Situaciones intermedias (terreno con comportamiento parcialmente drenado frente al oleaje)</p>	<p align="center">SITUACIÓN 3</p> $T_{oleaje} = 0,01 \left[\frac{\pi n D^2}{h k} \text{ y } \frac{\pi D^2}{c_v} \right]$ <p align="center">(terreno con comportamiento no drenado frente al oleaje)</p>
<p>a. Puede suponerse que la evolución de presiones intersticiales hidrodinámicas en el fondo generadas por el oleaje se reproduce enteramente y sin desfase dentro del terreno. En este caso la ley de presiones hidrodinámicas se obtendrá estableciendo la correspondiente red de filtración en condiciones de flujo estacionario. Esta condición no es previsible que ocurra en los suelos para los cuales está indicada la solución pantalla. Simplificadamente, en aquellos casos que esté del lado de la seguridad para la verificación de un modo de fallo es admisible considerar en el paramento enterrado la prolongación de la ley de empujes hidrodinámicos obtenida para el paramento exterior (equivale a admitir no transmisión del oleaje al trasdós de la estructura).</p>	<p>a. Distribución lineal entre:</p> $- p_2 = \frac{\gamma_w H_{\max, I}}{\cosh \left(\frac{2\pi h}{L} \right)}, \text{ en } z = 0$ $- 0, \text{ en } z = L_{at}$ <p>b)</p> $L_{at} = \frac{1}{A} = \min \left[\sqrt{\frac{T_{oleaje} \cdot h \cdot k}{\pi \cdot n}}, \sqrt{\frac{T_{oleaje} \cdot c_v}{\pi}} \right] \leq \frac{L_{oleaje}}{2\pi}$ <p>En los casos en que L_{at} sea muy pequeña en relación con la longitud de hinc a se comprobará adicionalmente la obra en condiciones no drenadas.</p>	<p>a. La definición de las presiones intersticiales hidrodinámicas instantáneas está sometida a grandes incertidumbres. En estos casos, se recomienda particularmente la aplicación de modelos elastoplásticos del terreno, imponiendo el crecimiento de las presiones intersticiales en función del número de ciclos y de su intensidad (Ver apartado 3.10. ROM 0.5-05 y literatura especializada). Por dichas razones, en estas zonas se recomienda trabajar en tensiones totales, considerando que la presión hidrodinámica generada por la onda compuesta actuando sobre el fondo del mar es igual a:</p> $\frac{\gamma_w H_{\max, I}}{\cosh \left(\frac{2\pi h}{L_{oleaje}} \right)} \cos \left(\frac{2\pi x}{L_{oleaje}} \right) \cos \left(\frac{2\pi t}{T_{oleaje}} \right)$ <p>Tomando como origen de coordenadas x el paso de cresta o seno por la estructura.</p>
<p>Leyenda</p> <p>L_{at} : profundidad o distancia de atenuación de la onda.</p> <p>c_v : coeficiente de consolidación del terreno</p> <p>T_{oleaje} : periodo medio del oleaje incidente</p> <p>K : número de onda ($2\pi/L$) del oleaje incidente.</p> <p>D : Distancia más larga hasta el drenaje (En el caso del terreno es la profundidad del punto en cuestión bajo el fondo del mar si el estrato es de gran espesor o tiene un límite inferior impermeable. En el caso de que drene por ambas caras será la distancia más larga hasta el drenaje; es decir no mayor que la mitad del espesor del estrato) Esta longitud nunca se adoptará mayor de $L_{oleaje}/2\pi$.</p> <p>γ_w : peso específico del agua.</p> <p>h : profundidad del fondo respecto al nivel medio del agua</p> <p>t : profundidad del paramento enterrado respecto al fondo del mar</p> <p>L_{oleaje} : Longitud de onda asociada al periodo medio del oleaje incidente.</p> <p>A : $\sqrt{\left(\frac{\gamma_w \pi}{k E_m T} \right)} = \sqrt{\frac{\pi}{c_v T}}$</p> <p>$k$: coeficiente de permeabilidad del terreno.</p> <p>E_m : módulo edométrico del terreno.</p> <p>n : porosidad del terreno.</p>		

- En los casos en los que se considere relevante la transmisión de oleaje en el relleno de trasdós por las dimensiones y características de la banqueta de cimentación, del relleno o del terreno natural, no serán de aplicación las formulaciones anteriores, ya que la obra no se comportaría por dicha causa como totalmente reflejante y se produciría un acoplamiento entre las leyes de presiones a barlomar y sotamar de la obra

de atraque que debería tomarse en consideración para la definición de las presiones y subpresiones hidrodinámicas. Para el análisis y definición de estas leyes, ver la ROM 1.0. En general, salvo con banquetas muy permeables de gran espesor en relación con la estructura resistente y con rellenos muy permeables en el trasdós de la obra (pedraplén), estos efectos pueden despreciarse en las obras de atraque y amarre fijas cerradas objeto de este apartado.

Tabla 4.6.2.7. Subpresiones hidrodinámicas producidas por el oleaje sin rotura sobre la base de obras lineales de gravedad totalmente reflejantes cimentadas sobre banquetas de escollera u otro material granular 1) 2)

<p>BANQUETA DE ESCOLLERA</p> $T_{oleaje} > \max \left[\frac{\pi n B^2}{t k_1}, \frac{\pi B^2}{c_{v1}} \right]$ <p>Banqueta con comportamiento totalmente drenado frente al oleaje</p>	<p>BANQUETA DE TODO UNO CON FINOS</p> $0,01 \left[\frac{\pi n B^2}{t k_1} \text{ ó } \frac{\pi B^2}{c_{v1}} \right] < T_{oleaje} < \left[\frac{\pi n B^2}{h k} \text{ ó } \frac{\pi B^2}{c_{v1}} \right]$ <p>Banqueta con comportamiento parcialmente drenado frente al oleaje</p>
PASO DE CRESTA	
 <p>LEY DE PRESIONES HIDRODINÁMICAS SOBRE EL TERREÑO NATURAL BAJO LA BANQUETA</p> <p>① ESCOLLERA ② RELLENO GENERAL ③ TERREÑO NATURAL</p>	 <p>① TODO UNO ② RELLENO GENERAL ③ TERREÑO NATURAL</p>
PASO DE SENO	
 <p>① ESCOLLERA ② RELLENO GENERAL ③ TERREÑO NATURAL</p>	 <p>① TODO UNO ② RELLENO GENERAL ③ TERREÑO NATURAL</p>
<p>Notas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Para la definición de los parámetros incluidos en esta tabla, ver la leyenda de la tabla 4.6.2.6. 2) La formulación incluida en esta tabla es de aplicación a los casos en los que no se considere relevante la transmisión del oleaje en el relleno de trasdós y, por tanto, la obra se comporte a estos efectos como totalmente reflejante. Será de aplicación con carácter general a las obras de atraque y amarre, salvo cuando las banquetas sean muy permeables de gran espesor en relación con la estructura resistente y con rellenos muy permeables en el trasdós de la misma. <p>Leyenda</p> $L_{at} = \min \left[\sqrt{\frac{T_{oleaje} \cdot t \cdot k_1}{\pi \cdot n}}, \sqrt{\frac{T_{oleaje} \cdot c_{v1}}{\pi}} \right]$	

- ◆ *Sobre obras de atraque en situación no rebasable, que se comporten como parcialmente reflejantes, con paramentos exteriores verticales o casi verticales y oleaje incidente y compuesto resultante ambos sin rotura*

Las obras fijas cerradas parcialmente reflejantes debido a la existencia de dispositivos absorbentes en su superficie se caracterizan por tener un coeficiente de reflexión $C_r = H_R/H_I < 1$, función del peralte del oleaje incidente, de la dirección del oleaje incidente y de la textura, forma y dimensiones de los dispositivos absorbentes; es decir, la altura de la ola reflejada es, en estos casos, menor que la altura de la ola incidente. El valor de C_r se obtendrá por medio de ensayos en modelo físico o en prototipo. Valores usuales del coeficiente de reflexión en estos casos están en el rango 0,3 ~ 0,6.

Ensayos realizados parecen confirmar que las acciones debidas al oleaje sobre este tipo de obras no son, en general, mucho más pequeñas que las que actúan sobre las obras totalmente reflejantes. En cualquier caso, es conveniente la aplicación de técnicas experimentales para confirmarlo en el caso de considerar dispositivos absorbentes no experimentados o sobre los que no exista una experiencia contrastada ⁽²¹⁾. Por dicha razón y en ausencia de estudios más precisos, las acciones del oleaje sobre este tipo de obras cuando pueda admitirse que no se produce transmisión del oleaje en el trasdós de la misma pueden ser obtenidas utilizando la formulación recomendada en esta Recomendación para las obras totalmente reflejantes, considerando una altura de ola incidente equivalente (H'_I) inferior a la altura de ola incidente real (H_I) e igual a la mitad de la altura de ola a pie de obra y en presencia de la obra (H_C). Es decir:

$$H'_I = \frac{1}{2} H_C = \frac{1}{2} (1 + C_r) H_I$$

No obstante lo anterior, y dado que puede producirse un aumento del peraltamiento de la ola para incidencia muy oblicua del oleaje, del lado de la seguridad en estos casos puede considerarse a los efectos de la definición de las acciones que la obra de atraque es totalmente reflejante ($C_r = 1$) y, por tanto entrando en la formulación con la altura de ola incidente real.

- ◆ *Sobre obras de atraque en situación no rebasable y con oleaje incidente en condiciones de rotura*

No es conveniente ubicar las obras de atraque y amarre en general, y especialmente cuando las obras son fijas cerradas, en emplazamientos o con disposiciones de banqueta de cimentación en los que se pueda producir la rotura de las olas más altas del estado de mar incidente de proyecto ($H_{max,I} \approx 0,9 h$) o del oleaje compuesto en el emplazamiento resultado de su interacción con la obra de atraque

$$\left(H_{max,C} \approx \left[1,36 - 0,48 \frac{1 - C_r}{1 + C_r} \right] \right),$$

dado que el oleaje en rotura puede dar lugar a presiones impulsivas muy importantes sobre la estructura, del orden de 10.000 kN/m² e incluso valores mayores, así como sobre los elementos que forman la banqueta.

- ◆ *Sobre obras de atraque en situación rebasable*

Como criterio general, por las consecuencias que tiene no sólo para la explotación sino para la estabilidad de las instalaciones, de las mercancías, de los equipos de transporte y

(21) Este criterio puede ser válido para el dimensionamiento y verificación global de la obra, pero no para el dimensionamiento y verificación de elementos locales, como por ejemplo las paredes que forman los dispositivos absorbentes, en los que pueden presentarse diferencias de presiones significativas entre las paredes exteriores e interiores.

manipulación de mercancías y de los rellenos de trasdós, las obras de atraque y amarre fijas cerradas se suelen proyectar como no rebasables o muy ligeramente rebasables en condiciones de nivel alto de las aguas exteriores (Ver apartado 3.2.2.1). En el caso excepcional de que una obra de atraque de este tipo, situada en áreas exteriores o no abrigadas frente al oleaje, se proyecte como rebasable se aplicará a los efectos de la definición de las acciones del oleaje lo dispuesto a estos efectos para los diques de abrigo en la ROM I.0.

No obstante lo anterior, en obras de atraque con trasdós las situaciones de paso de seno en situación de nivel bajo de marea suelen ser las más críticas para la estabilidad de la obra y en ellas no se suelen producir rebases, para estos casos podrán aplicarse las formulaciones recomendadas para los casos no rebasables.

d₁₂) SOBRE OBRAS DE ATRAQUE FIJAS CON $L/6 < D \cong L$

Se consideran en este apartado las obras fijas exentas, anchas y separadas suficientemente de la costa cuyas dimensiones horizontales frontales opacas a la propagación del oleaje (D) están entre $1/6$ de la longitud de onda del oleaje y valores comparables a misma y que, por tanto, afectan significativamente a las condiciones de propagación del mismo alrededor de la estructura. En general, las obras de atraque y amarre que responden a estas características son grandes duques de alba aislados o pantalanés discontinuos formados por soluciones mixtas.

Al no disponerse de relaciones funcionales contrastadas de aplicación generalizable a todo tipo de dimensiones y secciones, las acciones del oleaje sobre este tipo de obras deberán obtenerse fundamentalmente a través de técnicas numéricas o experimentales en modelo físico o prototipo, particularmente cuando hay posibilidades de que el oleaje incidente esté en condiciones de rotura o la estructura sea rebasable.

En los casos de estructuras fijas no rebasables sometidas a oleajes progresivos con números de Keulegan-Carpenter acotados ($H/D < 0,25$) puede admitirse que el flujo no se despega del perímetro de la obra y que, por tanto es esencialmente potencial. Entonces existe un potencial de velocidades (Φ) y el problema está gobernado por la ecuación de conservación de masa expresada mediante la función del potencial de velocidades:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0, \quad -h \leq z \leq 0$$

siendo:

$$\Phi = \Phi_I + \Phi_S$$

Φ_I : función potencial de velocidades del oleaje incidente.

Φ_S : función potencial de velocidades del oleaje disperso. Este potencial depende de la forma de la obra y de las condiciones de contorno asociadas al terreno y a la obra.

Para formas y condiciones de contorno simples existen soluciones analíticas conocidas que permiten disponer de las funciones potenciales. Estas soluciones analíticas pueden encontrarse en la literatura especializada. Por ejemplo, cuando la obra es un cilindro circular de eje vertical y de paramento impermeable, está disponible la solución de MacCamy y Fuchs. No obstante, para estructuras con formas complejas y otras condiciones de contorno se recomienda resolver el problema aplicando modelos de transformación del oleaje, de validez para las condiciones de contorno existentes en la obra y en el emplazamiento, que tengan en cuenta especialmente los procesos de difracción (Ver ROM I.0) ⁽²²⁾.

(22) En particular, la aplicación de los modelos numéricos (MSPE) de transformación del oleaje formulados en la aproximación de pendiente suave (Ver ROM I.0) proporciona las funciones potenciales total y dispersa en todos los puntos del dominio, incluido el perímetro de la obra.

Una vez conocidas las funciones potenciales, las presiones hidrodinámicas en cada punto pueden calcularse aplicando la ecuación de Bernoulli linealizada:

$$p(x, y, x, t) = \rho_w \frac{\partial(\Phi_I + \Phi_S)}{\partial t}, \quad -h \leq z \leq 0$$

Las acciones resultantes del oleaje sobre la estructura se calculan por integración de las presiones ejercidas sobre el contorno de la misma. Con carácter general en un estado de mar, estas acciones tienen componentes estacionarias y componentes no permanentes con diferentes escalas de variabilidad temporal.

Para la definición del comportamiento, así como de las presiones intersticiales en el terreno natural y las presiones hidrodinámicas que actúan en el fondo del mar en las proximidades de la obra o en la superficie de las coronaciones o taludes de las banquetas de cimentación deberán conocerse las características del oleaje resultante de la interacción de los trenes de onda incidente y de los dispersos debidos a la presencia de la obra en el emplazamiento por medio de modelos de transformación del oleaje. Una vez definido el oleaje en el emplazamiento será de aplicación lo definido a estos efectos en el epígrafe d_{11}) de este apartado considerando dicho oleaje.

d₂) Obras de atraque fijas en las que las fuerzas de inercia y/o arrastre son preponderantes ($\Pi_D < 0.5$. Regiones I, III, V y VI de la figura 4.6.2.3)

d₂₁) SOBRE OBRAS DE ATRAQUE FIJAS ABIERTAS CON $D < L/6$

Se consideran en este apartado las obras formadas por elementos estructurales de sustentación (pilotes o pilas) con secciones cuyas dimensiones horizontales perpendiculares a la dirección de propagación del oleaje (D) son mucho menores que la longitud de onda del oleaje y están suficientemente separados entre ellos y de otras estructuras para excluir toda interacción con las condiciones de propagación del mismo. En estas condiciones puede considerarse que esta estructura de la obra es transparente al oleaje, no afectando significativamente a las condiciones de agitación que se presentan en el emplazamiento. En general, las obras de atraque y amarre que responden adecuadamente a estos parámetros pueden ser tanto muelles como pantalanés, duques de alba y soluciones mixtas.

Las acciones del oleaje sobre este tipo de obras se definen a continuación, diferenciándose entre las actuantes sobre los elementos estructurales de sustentación y sobre la plataforma superior.

Este tipo de obras son particularmente recomendables cuando el emplazamiento esté muy expuesto a la acción del oleaje.

◆ *Sobre los elementos estructurales de sustentación*

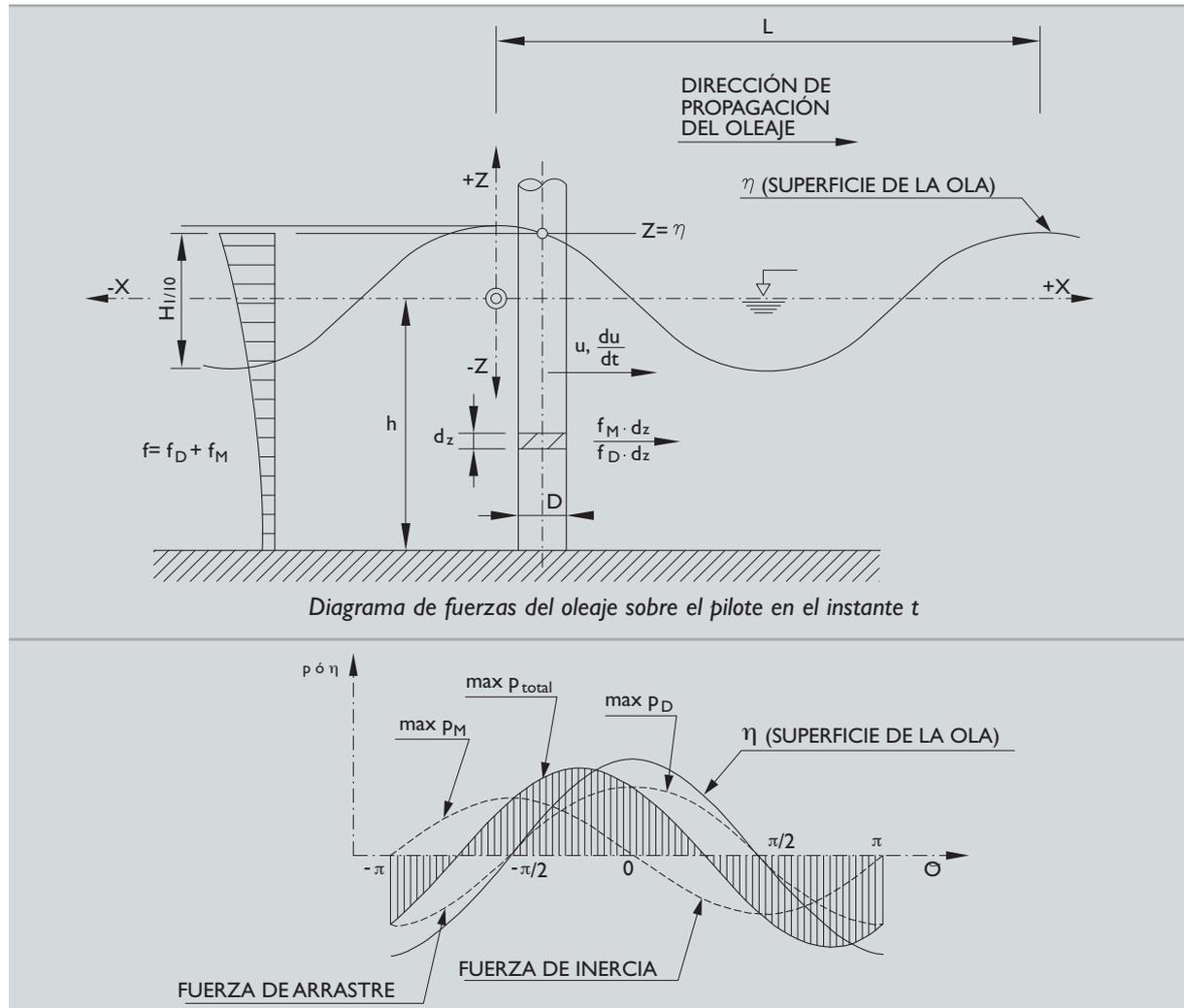
La acción del oleaje en condiciones sin rotura sobre un pilote o pila aislada vertical puede calcularse por medio de la Teoría de Morison cuando no se produzca de forma significativa la alteración de la progresión o la rotura de la onda por alcanzar o superar la cresta la plataforma superior de la obra de atraque. Esta teoría considera que la acción del oleaje puede descomponerse en dos fuerzas horizontales en la dirección de propagación del oleaje, de igual periodo que el oleaje en el emplazamiento:

- Fuerza de arrastre (F_D)
- Fuerza de inercia (F_M)

las cuales deben ser calculadas separadamente y superponerse tomando en consideración que existe un desfase entre los valores máximos de cada una de dichas fuerzas. Por tanto,

para determinar la máxima fuerza actuante debe calcularse cada una de las fuerzas en las diferentes fases. Si se aplica la teoría lineal del oleaje con ondas progresivas puede considerarse que la fuerza de arrastre está en fase con la onda y la fuerza de inercia está desfasada 90° respecto a la fuerza de arrastre (Ver figura 4.6.2.4).

Figura 4.6.2.4. Acciones del oleaje sobre un pilote (o pila) aislado vertical



De acuerdo con dicha formulación, las fuerzas de arrastre e inercia por unidad de longitud en un pilote o pila vertical se definen (Ver figura 4.6.2.4):

$$f_D = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot D \cdot u \cdot |u|$$

$$f_M = C_M \cdot \rho_w \cdot A \cdot \frac{\partial u}{\partial t}$$

donde:

C_D : Coeficiente hidrodinámico de arrastre (adimensional). Se supone constante en toda la longitud del elemento estructural. Este coeficiente toma en consideración la resis-

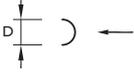
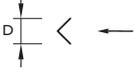
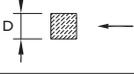
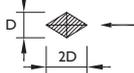
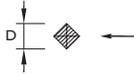
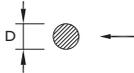
tencia al flujo de presiones. Varía principalmente con la sección de la estructura, la rugosidad de la superficie (considerando, en su caso, adherencias marinas: ver apartado 4.6.1.2) y los números de Reynolds (Re) y de Keulegan-Carpenter ($KC \cong \pi H/D$) y se determina experimentalmente.

El valor de C_D puede considerarse que prácticamente es constante para secciones no circulares. Por el contrario para secciones circulares el valor es altamente dependiente del número de Reynolds y de la rugosidad de la superficie. En ausencia de información más precisa pueden adoptarse los valores incluidos en la tabla 4.6.2.8.

ρ_w : Densidad (en kg/m^3) del agua (ver apartado 4.5).

D : Diámetro o, para elementos de sección no circular, anchura del elemento estructural en la dirección perpendicular a su eje en el plano perpendicular a la dirección del oleaje, incluyendo, en su caso, las adherencias marinas (m).

Tabla 4.6.2.8. Coeficientes de arrastre (C_D) para el cálculo de las fuerzas de arrastre debidas a la acción del oleaje sin rotura

SECCIÓN		COEFICIENTE DE ARRASTRE (C_D)
		1,98
		1,16
		2,20
		2,05
		1,10
		1,55
	$Re < 2 \cdot 10^5$	1,20
	$2 \cdot 10^5 < Re < 5 \cdot 10^5$ (1)	0,70 a 1,20 según la rugosidad (2)
	$Re \geq 5 \cdot 10^5$ (1)	0,60 a 1,00 según la rugosidad (2)
Notas		
1) En los casos más generales, este tipo de estructuras suele dar lugar a números Reynolds altos (régimen turbulento o de transición).		
2) Los valores menores se corresponden con superficies suaves y lisas		

u : Componente horizontal de la velocidad instantánea de las partículas de agua en el eje del pilote o pila (m/s). La definición del campo de velocidades puede determinarse por medio de los distintos modelos de onda progresiva o, en su caso, de onda compuesta, de acuerdo con sus rangos de validez, considerando que el oleaje incidente es equivalente cuando se trabaje con variables de estado a una onda regular con $H = H_{max}$. La utilización del modelo lineal de Airy es generalmente suficiente para obras de atraque y amarre situadas en zonas relativamente protegidas (ver figura 4.6.2.5). Para obras situadas en zonas más expuestas, en las que pueden presentarse oleajes mucho más peraltados, es recomendable utilizar modelos de orden

superior (ver dominios de validez de cada una de las teorías del oleaje en la figura 4.6.2.5). En la tabla 4.6.2.9. se resumen las formulaciones de los distintos parámetros asociados a la teoría lineal del oleaje, tanto para onda progresiva como para onda compuesta. Las formulaciones de dichos parámetros en otras teorías de ondas se incluyen en la ROM I.0.

- $|u|$: Valor absoluto de la componente horizontal de la velocidad instantánea de las partículas de agua en el emplazamiento del pilote o pila. (m/s).
- C_M : Coeficiente hidrodinámico de inercia (adimensional). Se supone constante en toda la longitud del elemento estructural. Varía principalmente con la sección de la estructura, la rugosidad de la superficie (considerando, en su caso, adherencias marinas) y los números de Reynolds (Re) y de Keulegan-Carpenter (KC). En ausencia de información más precisa de base experimental pueden adoptarse valores de C_M entre 2,0 y 2,5.
- A : Sección transversal del elemento estructural en la dirección perpendicular a su eje (m^2).
- $\delta u/\delta t$: Componente horizontal de la aceleración instantánea de las partículas de agua en el eje del pilote o pila. La definición del campo de aceleraciones puede determinarse por medio de los distintos modelos de onda progresiva o, en su caso, de onda compuesta, de acuerdo con sus rangos de validez, considerando que el oleaje incidente es equivalente cuando se trabaje con variables de estado a una onda regular con $H = H_{max}$. Al igual que lo señalado para el campo de velocidades, la utilización del modelo lineal de Airy es generalmente suficiente para zonas relativamente protegidas (Ver figura 4.6.2.5). Para obras situadas en zonas más expuestas, en las que pueden presentarse oleajes mucho más peraltados, es recomendable utilizar modelos de orden superior (ver dominios de validez de cada una de las teorías del oleaje en la figura 4.6.2.5). En la tabla 4.6.2.9 se resumen las formulaciones de los distintos parámetros asociados a la teoría lineal del oleaje, tanto para onda progresiva como para onda compuesta. Las formulaciones de dichos parámetros en otras teorías de ondas se incluyen en la ROM I.0 (m/s^2).

En aquellos casos en los que, bien la fuerza de arrastre bien la fuerza de inercia sean muy pequeñas respecto a la predominante, será admisible como aproximación simplificada del lado de la seguridad adoptar que la fuerza resultante es 1.4 veces la correspondiente a la componente predominante. De acuerdo con lo dispuesto en la figura 4.6.2.3, puede considerarse que:

- La fuerza de inercia es preponderante cuando $(H_{max}/D) < 2$, ($KC < 6$)
(Regiones I y III de la figura 4.6.2.3)
- La fuerza de arrastre es preponderante $(H_{max}/D) > 20$, ($KC > 60$)
(Región VI de la figura 4.6.2.3)

Las fuerzas sobre pilotes o pilas individuales pueden extrapolarse a grupos de pilas o pilotes verticales de igual sección situados en una o varias alineaciones en la dirección del oleaje siempre que la separación entre los ejes de los mismos sea superior a 4 veces su diámetro. En estos casos, para determinar la fuerza total sobre el grupo deberá tomarse en consideración los desfases existentes entre las fuerzas actuantes sobre cada uno de los elementos estructurales en función de su emplazamiento. Es decir:

$$F_{total} = \sum_1^N f_i(\theta_i)$$

siendo :

N : número de pilotes o pilas.

$f_i(\theta_i)$: fuerza total sobre el pilote i , teniendo en cuenta el ángulo de fase $[(\theta_i = (2\pi x_i/L) - (2\pi t/T))]$.

La formulación de Morison también puede aplicarse a pilotes inclinados, considerando que las fuerzas por unidad de longitud son perpendiculares al eje del pilote e introduciendo en la formulación las velocidades y aceleraciones totales que se producen en cada punto simultáneamente, teniendo en cuenta los diferentes ángulos de fase en que se encuentran (Ver figura 4.6.2.6).

Simultáneamente a las fuerzas de arrastre e inercia, en este tipo de estructuras también se presentan fuerzas transversales perpendiculares al plano formado por el eje del elemento estructural y la dirección de propagación del oleaje. Generalmente puede aceptarse que dichas fuerzas no son significativas para elementos verticales, aunque pueden ser importantes en elementos estructurales horizontales (p.e. en celosías espaciales y jackets) y dar lugar a vibraciones en pilotes verticales muy esbeltos cuando la frecuencia natural de la estructura se aproxima a la de dicha fuerza que coincide con la de aparición de los remolinos que se forman en los puntos de despegue de la estela generada por la interposición de la estructura al flujo incidente (\approx frecuencia doble que la del oleaje). En estos casos, así como cuando la frecuencia natural de la estructura esté próxima a la del oleaje (0,05 a 1 Hz) deberá considerarse la realización de análisis dinámicos específicos. Los duques de alba muy flexibles, trabajando en voladizo, son particularmente sensibles a estos fenómenos resonantes. En la literatura técnica especializada pueden encontrarse formulaciones desarrolladas para algunos casos, en particular para elementos estructurales de sección circular.

◆ Sobre la plataforma superior

Cuando la plataforma superior de una obra de atraque fija abierta esté situada en las proximidades del nivel del mar, el oleaje puede alcanzar la parte inferior y superior de la misma, debiendo tomarse en consideración la existencia de empujes verticales ascensionales sobre dicha parte de la plataforma causados por las velocidades y aceleraciones verticales de la masa de agua, así como de otros esfuerzos debidos a la propia inmersión de este elemento estructural, durante el paso de la cresta del oleaje. El valor y la distribución de estos empujes depende de las características del oleaje en el emplazamiento (progresivo o estacionario) y de su posición respecto de la parte inferior de la plataforma, así como de las dimensiones, forma estructural (con vigas o sin vigas) y condiciones de regularidad de la parte inferior de la plataforma. Estos empujes tienen naturaleza impulsiva, actuando con sus valores de pico durante periodos muy cortos de tiempo en diferentes zonas de la plataforma, debiéndose considerar la posibilidad de que se produzca una respuesta dinámica de la estructura. Dada la magnitud de estos empujes y las incertidumbres asociadas a su evaluación y distribución, siempre que sea posible se recomienda elevar la plataforma por encima del nivel más elevado de las aguas para evitar la actuación de este tipo de acciones sobre la misma.

Debido a la gran cantidad de parámetros que influyen en este fenómeno, estos empujes tienen una muy difícil evaluación analítica general por lo que para su cuantificación es recomendable la utilización de técnicas experimentales en modelo físico o en prototipo. En los casos en los que se realice una aproximación analítica, deberá valorarse la posible no linealidad del oleaje en el emplazamiento (olas muy peraltadas) y en ese caso utilizar una teoría no lineal que permita estimar con suficiente precisión las velocidades de la cresta de las olas, que suelen diferir considerablemente de las proporcionadas por la teoría lineal de ondas, válida para ondas de pequeña amplitud. En la literatura especializada puede encontrarse la cuantificación de dichos empujes para algunos casos concretos. Como una primera aproximación general puede considerarse que el empuje estático ascensional equivalente sobre una plataforma por unidad de superficie, considerado uniformemente distribuido a lo largo de la misma, es cuando se trabaje con variables de estado:

$$p = 2\rho_w g H_{max,I} \quad , \quad \text{para oleaje progresivo}$$

Figura 4.6.2.5. Dominio de validez de las distintas teorías del oleaje

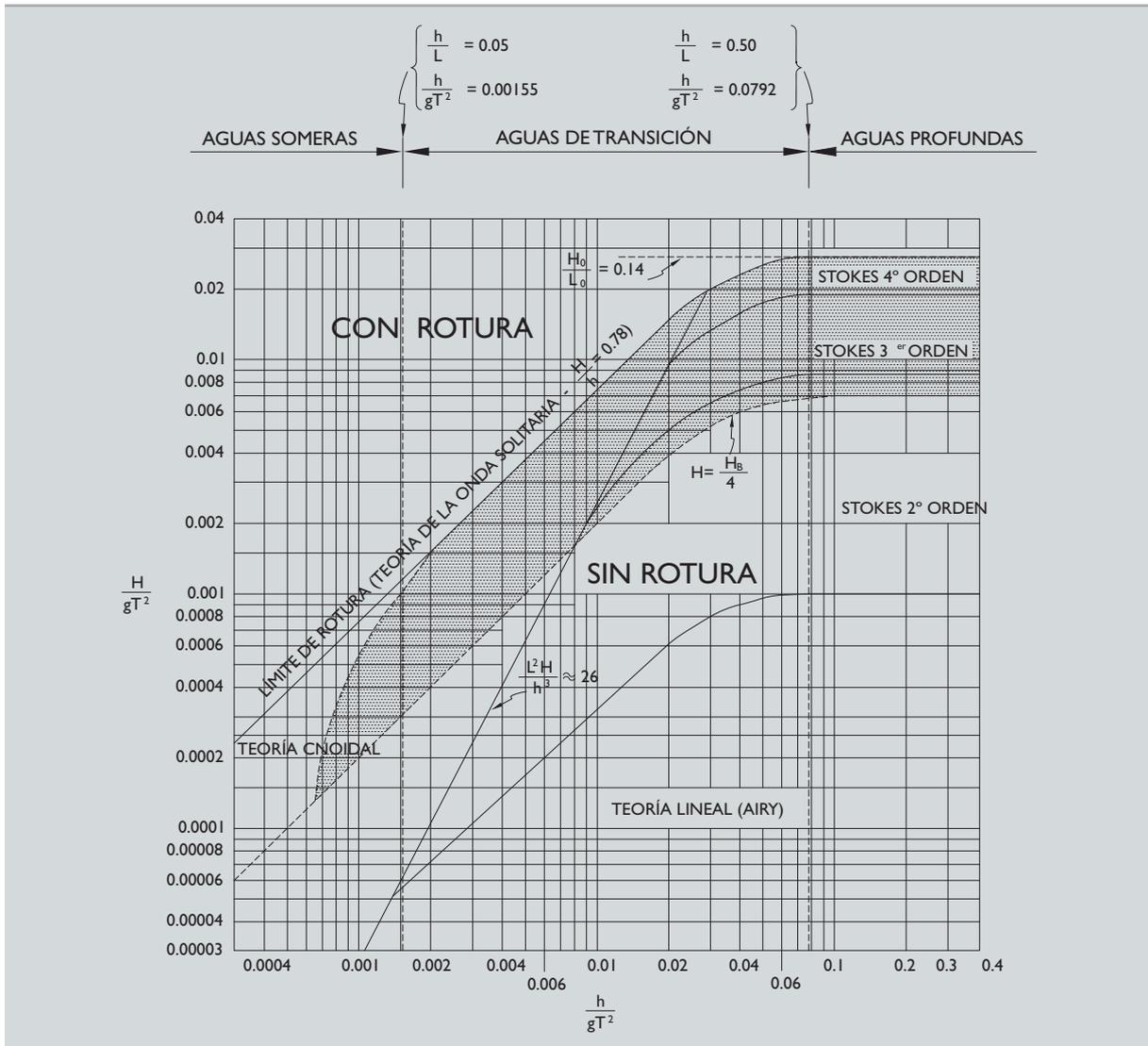
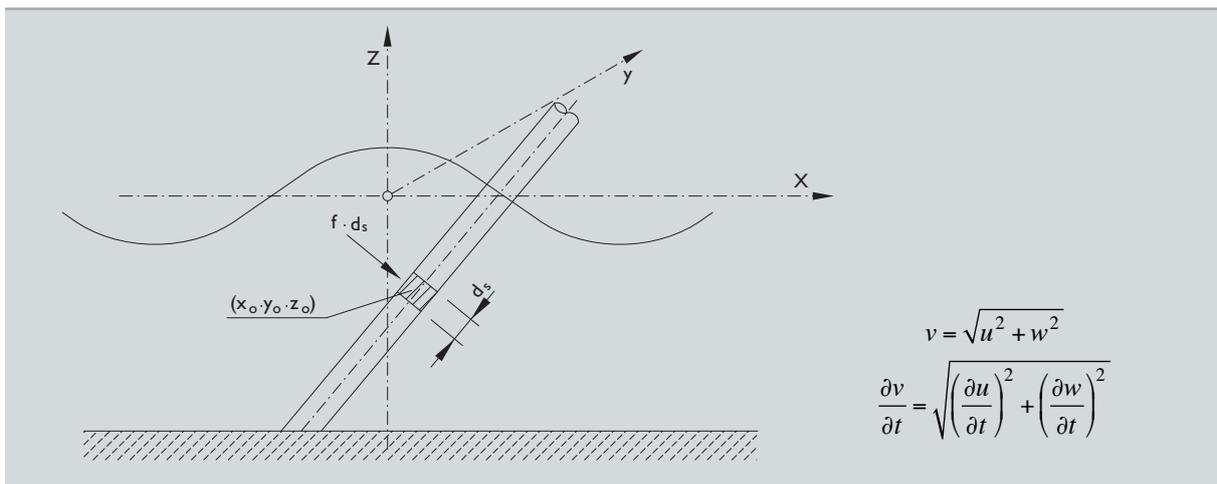


Figura 4.6.2.6. Acciones del oleaje sobre un pilote (o pila) aislado inclinado



$$p = 4\rho_w g H_{max,I} \quad , \quad \text{para oleaje estacionario}$$

La toma en consideración de estos esfuerzos podrá despreciarse cuando la parte inferior de la plataforma se sitúe al menos 0,5 m por encima del nivel correspondiente a la altura de ola máxima del estado de mar cuya probabilidad de excedencia en la fase de proyecto considerada sea igual a la probabilidad de fallo considerada, adoptando el nivel alto de las aguas compatible con dicho estado de mar y considerando las posibles asimetrías entre la altura de crestas y senos respecto al nivel medio del mar por la no linealidad del oleaje.

Para la definición del comportamiento, así como de las presiones intersticiales en el terreno natural y las presiones hidrodinámicas que actúan en el fondo del mar en las proximidades de la obra deberá considerarse que las características del oleaje en el emplazamiento no se modifican por la presencia de la obra, siendo por tanto de aplicación lo definido a estos efectos en el subapartado d_{11}) de este apartado considerando dicho oleaje.

d₃) Obras flotantes

Se consideran en este apartado las obras de atraque y amarre flotantes, independientemente de sus dimensiones en relación con la longitud de onda del oleaje y del sistema de amarre empleado. En este sentido, las obras de atraque y amarre que responden a estos parámetros son pantalanes, boyas, campos de boyas y monoboyas.

Tabla 4.6.2.9. Parámetros de la onda regular asociados a la teoría lineal del oleaje

		Profundidades reducidas $h/L < 1/20$	Profundidades intermedias $1/20 \leq h/L \leq 1/2$	Aguas profundas $h/L > 1/2$
ONDA PROGRESIVA				
Superficie libre (η)		$\eta = \frac{H}{2} \cos \theta = \frac{H}{2} \cos \left[\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right]_1$		
Celeridad de la onda ($c = L/T$)		\sqrt{gh}	$\frac{gT}{2\pi} \operatorname{tgh} \left(\frac{2\pi h}{L} \right)$	$\frac{gT}{2\pi}$
Longitud de onda (L)		$\sqrt{gh} \cdot T$	$\frac{gT^2}{2\pi} \operatorname{tgh} \left(\frac{2\pi h}{L} \right)$	$\frac{gT^2}{2\pi}$
Velocidad de las partículas	Horizontal (u)	$\frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{h}} \cos \theta$	$\frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh \left[\frac{2\pi(z+h)}{L} \right]}{\cosh \left[\frac{2\pi h}{L} \right]} \cdot \cos \theta$	$\frac{H}{2} \frac{2\pi}{T} e^{\frac{2\pi z}{L}} \cos \theta$
	Vertical (w)	$\frac{H}{2} \frac{2\pi}{T} \left(1 + \frac{z}{h} \right) \operatorname{sen} \theta$	$\frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\operatorname{senh} \left[\frac{2\pi(z+h)}{L} \right]}{\cosh \left[\frac{2\pi h}{L} \right]} \cdot \operatorname{sen} \theta$	$\frac{H}{2} \frac{2\pi}{T} e^{\frac{2\pi z}{L}} \operatorname{sen} \theta$
Aceleración de las partículas	Horizontal ($\delta u / \delta t$)	$\frac{H}{2} \left(\frac{2\pi}{T} \right) \sqrt{\frac{g}{h}} \operatorname{sen} \theta$	$\frac{H}{2} \frac{2\pi g}{L} \frac{\cosh \left[\frac{2\pi(z+h)}{L} \right]}{\cosh \left[\frac{2\pi h}{L} \right]} \cdot \operatorname{sen} \theta$	$2H \left(\frac{\pi}{T} \right)^2 e^{\frac{2\pi z}{L}} \operatorname{sen} \theta$
	Vertical ($\delta w / \delta t$)	$-2H \left(\frac{\pi}{T} \right)^2 \left(1 + \frac{z}{h} \right) \cos \theta$	$-\frac{H}{2} \frac{2\pi g}{L} \frac{\operatorname{senh} \left[\frac{2\pi(z+h)}{L} \right]}{\cosh \left[\frac{2\pi h}{L} \right]} \cdot \cos \theta$	$-2H \left(\frac{\pi}{T} \right)^2 e^{\frac{2\pi z}{L}} \cos \theta$
Presión (p)		$\rho_w g (\eta - z)$	$\rho_w g \eta \frac{\cosh \left[\frac{2\pi(z+h)}{L} \right]}{\cosh \left[\frac{2\pi h}{L} \right]} - \rho_w g z$	$\rho_w g \eta \cdot e^{\frac{2\pi z}{L}} - \rho_w g z$

Parámetros de la onda regular asociados a la teoría lineal del oleaje (continuación)

		Profundidades reducidas h/L < 1/20	Profundidades intermedias 1/20 ≤ h/L ≤ 1/2	Aguas profundas h/L > 1/2
ONDA COMPUESTA 2)				
Superficie libre (η _c)		$\eta_c = \frac{H_I}{2} \left[\cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) + C_r \cos\left(\frac{2\pi x}{L} + \frac{2\pi t}{T} + \varepsilon\right) \right] = \frac{H_I}{2} [\cos\theta_I + C_r \cos\theta_R]$ 3)		
Celeridad de la onda (c = L/T)		\sqrt{gh}	$\frac{gT}{2\pi} \operatorname{tgh}\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$	$\frac{gT}{2\pi}$
Longitud de onda (L)		$\sqrt{gh} \cdot T$	$\frac{gT^2}{2\pi} \operatorname{tgh}\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$	$\frac{gT^2}{2\pi}$
Velocidad de las partículas	Horizontal (u)	$\frac{H_I}{2} \sqrt{\frac{g}{h}} (\cos\theta_I - C_r \cos\theta_R)$	$\frac{H_I}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh\left[\frac{2\pi(z+h)}{L}\right]}{\cosh\left[\frac{2\pi h}{L}\right]} (\cos\theta_I - C_r \cos\theta_R)$	$\frac{H_I}{2} \frac{2\pi}{T} e^{\frac{2\pi z}{L}} (\cos\theta_I - C_r \cos\theta_R)$
	Vertical (w)	$\frac{H_I}{2} \frac{2\pi}{T} \left(1 + \frac{z}{h}\right) (\operatorname{sen}\theta_I - C_r \operatorname{sen}\theta_R)$	$\frac{H_I}{2} \frac{gT}{L} \frac{\operatorname{senh}\left[\frac{2\pi(z+h)}{L}\right]}{\cosh\left[\frac{2\pi h}{L}\right]} (\operatorname{sen}\theta_I - C_r \operatorname{sen}\theta_R)$	$\frac{H_I}{2} \frac{2\pi}{T} e^{\frac{2\pi z}{L}} (\operatorname{sen}\theta_I - C_r \operatorname{sen}\theta_R)$
Aceleración de las partículas	Horizontal (δu/δt)	$\frac{H_I}{2} \left(\frac{2\pi}{T}\right) \sqrt{\frac{g}{h}} (\operatorname{sen}\theta_I + C_r \operatorname{sen}\theta_R)$	$\frac{H_I}{2} \frac{2\pi g}{L} \frac{\cosh\left[\frac{2\pi(z+h)}{L}\right]}{\cosh\left[\frac{2\pi h}{L}\right]} (\operatorname{sen}\theta_I + C_r \operatorname{sen}\theta_R)$	$2H_I \left(\frac{\pi}{T}\right)^2 e^{\frac{2\pi z}{L}} (\operatorname{sen}\theta_I + C_r \operatorname{sen}\theta_R)$
	Vertical (δw/δt)	$-2H_I \left(\frac{\pi}{T}\right)^2 \left(1 + \frac{z}{h}\right) (\cos\theta_I + C_r \cos\theta_R)$	$-\frac{H_I}{2} \frac{2\pi g}{L} \frac{\operatorname{senh}\left[\frac{2\pi(z+h)}{L}\right]}{\cosh\left[\frac{2\pi h}{L}\right]} (\cos\theta_I + C_r \cos\theta_R)$	$-2H_I \left(\frac{\pi}{T}\right)^2 e^{\frac{2\pi z}{L}} (\cos\theta_I + C_r \cos\theta_R)$
Presión (p)		$\rho_w g (\eta_c - z)$	$\rho_w g \eta_c \frac{\cosh\left[\frac{2\pi(z+h)}{L}\right]}{\cosh\left[\frac{2\pi h}{L}\right]} - \rho_w g z$	$\rho_w g \eta_c \cdot e^{\frac{2\pi z}{L}} - \rho_w g z$
Notas				
<ol style="list-style-type: none"> 1) θ : Ángulo de fase [(2πx/L) - (2πt/T)]. 2) Se entiende como onda compuesta a la onda estacionaria o cuasi-estacionaria resultado de la superposición de una onda incidente con una reflejada. En teoría lineal, la formulación de dicha onda puede obtenerse considerando la superposición lineal de dos ondas progresivas propagándose en direcciones opuestas. 3) ε : Desfase entre la onda incidente y reflejada que se produce cuando la reflexión no es perfecta, dando lugar a una onda compuesta cuasi-estacionaria. Por tanto, cuando ε = 0 y C_r = 1 la onda compuesta es la onda estacionaria. 4) Origen de ordenadas z en el nivel medio del mar. 				

Las acciones del oleaje sobre este tipo de obras se definen a continuación, siendo altamente dependientes de la respuesta dinámica de la estructura y del sistema de amarre, rígido o flexible, utilizado frente a un oleaje de longitud de onda L y periodo T; lo que define el tipo y magnitud de los movimientos de la estructura. Las acciones inducidas sobre este tipo de estructuras y sobre sus sistemas de amarre depende, por tanto, del equilibrio que se alcance entre las mismas, las reacciones de los sistemas de amarre y la reacción inercial que tiende a llevar al flotador a su posición de equilibrio cuando se mueve. La complejidad de este sistema de naturaleza dinámica recomienda con carácter general la determinación de estas acciones mediante técnicas experimentales o numéricas. Las obras de atraque y amarre con sistemas de amarre flexibles son particularmente recomendables cuando el emplazamiento esté muy expuesto a la acción del oleaje.

◆ *Sobre obras de atraque y amarre flotantes con sistemas de amarre rígidos*

Son obras dotadas de sistemas de amarre (p.e. pilotes guía, duques de alba, tirantes,...) que impiden o restringen en la práctica los movimientos horizontales de la estructura. Por la gran rigidez

que presentan frente a la acción del oleaje, no se recomienda este tipo de obras de atraque y amarre en zonas con oleaje relevante.

Las acciones predominantes inducidas por el oleaje en una estructura flotante de este tipo son de carácter oscilatorio con igual periodo que el oleaje incidente, cuyo valor depende del tamaño de la estructura en relación con la longitud de onda del oleaje, así como de la capacidad de la estructura flotante de transmitir la energía incidente.

Para la determinación de estas acciones no se disponen de formulaciones analíticas de aplicación generalizable, siendo, tal como se ha señalado, recomendable recurrir a técnicas experimentales o numéricas basadas en la teoría de la difracción (Ver apartado 4.6.2.1.1 d_{12}), tomando en consideración, adicionalmente a las fuerzas de difracción, las fuerzas de radiación debidas al movimiento propio de la obra. Para ello se deberá obtener, además de las funciones potenciales del oleaje incidente y del disperso, la función potencial irradiada de las ondas en el medio inducidas o generadas por los movimientos del flotador. Estas ondas son las que producen las fuerzas de radiación en la obra. Para el cálculo de las presiones sobre cada uno de los contornos de la estructura se debe tener en cuenta su velocidad, dando lugar a campos de presiones en la superficie del flotador asociados a cada uno de los grados de libertad de los que disponga. En la actualidad hay modelos numéricos que calculan estos movimientos sobre un cuerpo flotante en el régimen de difracción. No obstante lo anterior, en estructuras flotantes de sección rectangular, con dimensiones perpendiculares a la dirección de propagación del oleaje manifiestamente superior a la longitud de onda del oleaje y profundidad relativa $h/L > 0,5$ puede considerarse simplifadamente que su comportamiento es totalmente reflejante si tiene el suficiente francobordo y no se produce transmisión del oleaje al trasdós, pudiendo estimarse la acción del oleaje de igual forma que para las obras de atraque fijas cerradas con $D \gg L$ (Ver apartado 4.6.2.1.1. d_{11}). De igual forma, para dichas profundidades relativas cuando las dimensiones de la estructura en anchura son pequeñas en relación con la longitud de onda, de forma que no quedan afectadas significativamente las condiciones de propagación del oleaje, las acciones del oleaje pueden estimarse por medio de la formulación de Morison (Ver apartado 4.6.2.1.1. d_{21}).

En este tipo de estructuras no es esperable que se produzcan fenómenos resonantes que den lugar a movimientos de gran amplitud, ya que los periodos propios de oscilación de la estructura amarrada con sistemas de amarre rígidos son mucho menores que los periodos del oleaje incidente.

◆ *Sobre obras de atraque y amarre flotantes con sistemas de amarre flexibles*

Son obras dotadas de sistemas de amarre flexibles (p.e. cadenas en catenaria,...) que mantienen la estructura más o menos en la misma posición pero no impiden los movimientos de la misma en los seis grados de libertad. Las acciones del oleaje sobre cada uno de los contornos de la estructura se pueden estimar de igual forma que para obras de atraque y amarre con sistemas de amarre rígidos pero considerando que, en este caso, la estructura dispone de seis grados de libertad. La resultante de estas acciones inducidas por el oleaje en la estructura flotante es la denominada fuerza horizontal de deriva en la dirección de propagación del oleaje, la cual es proporcional al cuadrado de la altura de ola y tiene un periodo mucho mayor que el del oleaje incidente, pudiéndose considerar prácticamente como cuasi-estacionaria en el estado de mar.

La cuantificación de la fuerza de deriva producida por el oleaje sobre la obra de atraque flotante es difícilmente generalizable debido a su dependencia de muchos factores, entre otros, de las características del oleaje en el emplazamiento, de las dimensiones sumergidas de la estructura y de la profundidad de agua existente en el emplazamiento, así como de la configuración del atraque y de la distribución y flexibilidad del sistema de amarre. No obstante, a falta de ensayos específicos en modelo o en prototipo, podrá aproximarse por la formulación recomendada para el cálculo de fuerzas debidas al oleaje sobre buques equiparables, incluida en el apartado de esta Recomendación correspondiente a las acciones de uso y explotación (apartado 4.6.4.4.7. Cargas de

amarre). En profundidades relativas $h/L > 0,5$, esta formulación tiene un valor máximo correspondiente a la completa reflexión de oleaje sobre la estructura. Por tanto, el valor máximo que puede alcanzar la fuerza de deriva total es:

$$F_w = \frac{\gamma_w \cdot D' \cdot H^2}{8}$$

siendo:

D' : longitud de la proyección de la estructura flotante en la dirección de propagación del oleaje.
 H : cuando se trabaje con variables básicas es la altura de ola y cuando se trabaje con variables de estado es la altura de ola media cuadrática ($H_{rms} \cong H_{1/3}/\sqrt{2}$) del oleaje incidente.

En general, en este tipo de estructuras pueden producirse efectos resonantes que den lugar a una amplificación de movimientos, cuando los periodos de oscilación de alguno de ellos (particularmente los de cabeceo, balance y deriva) estén próximos a los del oleaje o sean múltiplos o submúltiplos de éstos. En este caso son esperables también efectos dinámicos significativos en las cargas de amarre transmitidas.

Para cada estado de proyecto correspondiente a condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de un oleaje extraordinario, las acciones debidas al oleaje tendrán igual consideración que el agente causante, al presentar en general componentes no permanentes con diferentes escalas de variabilidad temporal que pueden ser distintas a las de dicho oleaje. No obstante lo anterior, en algunos casos, dependiendo de su escala de variabilidad, alguna de estas fuerzas puede ser considerada de carácter permanente en el estado meteorológico (p.e. las fuerzas de deriva en obras de atraque flotantes con sistemas de amarre flexibles). Al igual que el oleaje en dichos estados, en condiciones de operación en las que la altura de ola defina los límites de operatividad de la instalación, en condiciones excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea una acción climática extraordinaria o en el estado sísmico las acciones debidas al oleaje tendrán el carácter de permanentes.

En general, la formulación de las presiones hidrodinámicas debidas al oleaje incluidas en este apartado es aplicable tanto a variables básicas (por ola o por componente espectral) como a variables de estado, adoptándose en este último caso normalmente la altura de ola máxima como variable de estado principal cuando la escala de variabilidad de la acción resultante en el estado meteorológico es significativa y otro parámetro representativo de la altura de ola (H_{rms} o $H_{1/3}$) cuando la escala de variabilidad de la acción resultante en dicho estado no es significativa.

4.6.2.2. Otros agentes climáticos atmosféricos ($q_{f,c,3}$)

Otros agentes climáticos atmosféricos como la precipitación, la niebla, la nieve o el hielo también pueden afectar a las obras de atraque y amarre, particularmente para el establecimiento de la operatividad de la instalación, al poder ser estos agentes los predominantes para algunos modos de parada operativa (p.e. las precipitaciones pueden dar lugar a la paralización de las operaciones de carga y descarga en función del tipo de mercancía manipulada, del equipo de manipulación considerado y de las instalaciones de almacenamiento existentes en el puerto o la niebla o el hielo impedir el acceso del buque al atraque), así como para el dimensionamiento de algunos elementos de uso y explotación como los sistemas de drenaje de las explanadas adosadas. También pueden ser relevantes para el establecimiento de la duración de la fase de construcción.

Estos agentes pueden considerarse que no presentan ningún tipo de correlación entre sí y con los otros agentes climáticos, tratándose como agentes independientes, salvo la niebla que puede tener dos regímenes de correlación con la precipitación y la nieve, al considerarse en sentido amplio que como niebla se incluyen también los fenómenos climáticos que reducen la visibilidad. En general, estos agentes se considerarán de actuación compatible entre sí y con los otros agentes climáticos, con la excepción de entre nieve y viento, entre precipitación y nieve, así como entre hielo y oleaje.

Los parámetros o variables de estado correspondientes a cada agente que, en general, se consideran relevantes para las obras de atraque y amarre, son los siguientes:

- ◆ Precipitación: I_t (Intensidad de precipitación en un intervalo de tiempo t , en mm/h).
- ◆ Niebla: d_v (distancia máxima de visibilidad, en m).
- ◆ Nieve: $Q_{fc,31}$ (sobrecarga de nieve acumulada en un periodo de 12 horas sobre un plano horizontal, en kN/m^2).
- ◆ Hielo: h_h (espesor de la capa de hielo, en m)

Estos agentes se definen, de igual forma que lo dispuesto en el apartado 4.6.2.1 para los otros agentes climáticos, a partir de los regímenes extremales y medios marginales en el emplazamiento de las variables de estado que caracterizan a dichos agentes. Para la obtención de dichas funciones de distribución son aplicables idénticos criterios que para el resto de agentes climáticos.

Los límites de operación que se establecen para estos agentes para obras de atraque y amarre por condiciones de explotación y seguridad no son generalizables al ser muy dependientes de las condiciones locales del puerto, de los medios e instalaciones de explotación y seguridad disponibles, así como, en su caso, del tipo de mercancía e instalaciones de almacenamiento existentes. No obstante, considerando condiciones estándares de balizamiento y de control de tráfico, puede adoptarse como límite de operatividad para niebla en operaciones de acceso, atraque y desatraque de buques una distancia máxima de visibilidad del orden de 3 veces la eslora del buque, incluyendo en la eslora, en su caso, la longitud del cabo de remolque. Simplificadamente, es admisible considerar para buques mercantes mayores de 10.000 TPM una distancia máxima de visibilidad límite de operatividad de 1.000 m.

En España, a falta de datos en el emplazamiento en número y calidad contrastada, algunas funciones de distribución y/o los valores nominales o representativos correspondientes a los parámetros que caracterizan a estos agentes pueden obtenerse:

- ◆ Los regímenes extremales marginales de intensidad de precipitación: en los documentos “Máximas lluvias diarias en la España peninsular. Ministerio de Fomento (1999) y “Las precipitaciones máximas en 24 horas y sus periodos de retorno”. Ministerio de Medio Ambiente (2001). La relación que puede adoptarse entre el parámetro que suministran, estos documentos, la precipitación diaria máxima (P_d), y la Intensidad de precipitación en un intervalo t (I_t) es:

$$I_t = I_d \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

siendo;

I_d : Intensidad de precipitación media diaria = $P_d/24$, en mm/h

I_1 : Intensidad de precipitación media horaria:

- $8I_d$ (fachadas Galicia, Canarias norte y Estrecho).
- $9I_d$ (fachadas Cantábrica, Canarias/sur y Suratlántica)
- $10I_d$ (fachadas Canarias/sur y Surmediterránea)
- $11I_d$ (fachadas Ceuta, Melilla, Levante y Cataluña)
- $12I_d$ (fachada Baleares)

t : Intervalo de tiempo para el que se quiere evaluar la intensidad (en h)

- ◆ Los valores representativos de la sobrecarga de nieve: en el Eurocódigo I. UNE-ENV 2003 Acciones generales: cargas de nieve. Acciones en estructuras. Parte 1.3. Carga de Nieve. Simplificadamente, podrán adoptarse los valores incluidos en la tabla 4.6.2.10.

En las zonas marítimas españolas no es necesario tomar en consideración la actuación del agente hielo. En aquellas áreas geográficas situadas en latitudes en la que la presencia del agente hielo sea significativa, este agente deberá tomarse en consideración tanto para la verificación de los modos de fallo como para la verificación de los modos de parada operativa. Sobre las obras de atraque y amarre tanto fijas, cerradas o abiertas, como

flotantes, la acción del hielo puede considerarse que da lugar a fuerzas horizontales estáticas y dinámicas debidas a la acción de arrastre del viento o las corrientes sobre bloques o campos de hielo que alcanzan y golpean la estructura, así como a la expansión producida por la congelación del agua. Estas fuerzas están limitadas por la resistencia a compresión del hielo. Asimismo da lugar a fuerzas verticales, tanto descendentes como ascendentes, causadas por las variaciones de los niveles de las aguas cuando se ha formado una capa de hielo alrededor de la estructura, las cuales dan lugar a que en cada ciclo dicha capa de hielo se mantenga un periodo elevada (fuerza descendente) y otro sumergida (fuerzas ascendentes). Dada su nula incidencia en España, la valoración detallada de estas acciones no se incluye en esta Recomendación. En la literatura técnica especializada pueden encontrarse formulaciones de aplicación.

Tabla 4.6.2.10. Valores representativos de las sobrecargas de nieve en España (en kN/m^2)

FACHADAS	VALORES EXTREMALES			VALORES MEDIOS	
	$T_R = 5$ años	$T_R = 50$ años	$T_R = 500$ años	Probabilidad de no excedencia del 85%	Probabilidad de no excedencia del 50%
Norte-Galicia	0,10	0,20	0,30	0,03	0,00
Cataluña-Baleares	0,20	0,40	0,60	0,06	0,00
Levante-Suratlántica	0,10	0,20	0,30	0,03	0,00
Surmediterránea-Canarias	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Los otros agentes climáticos atmosféricos, así como las acciones por ellos inducidas, tendrán el carácter de no permanentes o variables en el estado meteorológico. En condiciones excepcionales debido a su actuación de carácter extraordinario tendrán la consideración de extraordinarios, insólitos o accidentales en dicho estado de proyecto. En condiciones excepcionales debidas a la presencia de una acción accidental no climática o en el estado sísmico las acciones debidas a los otros agentes climáticos atmosféricos tendrán la consideración de permanentes.

4.6.2.3. Agente térmico (q_{ft})

Se consideran agentes térmicos los agentes del medio físico (temperatura del aire, humedad, temperatura del agua, radiación solar, etc.) cuyas variaciones en un intervalo de tiempo pueden ocasionar gradientes térmicos espaciales o temporales en los elementos estructurales que constituyen la obra, los cuales producen la deformación de dichos elementos cuando la estructura puede dilatarse libremente o tensiones adicionales cuando dichas deformaciones están impedidas o limitadas, dando lugar a la aparición en el mismo de las acciones térmicas.

En las obras de atraque y amarre podrá despreciarse la consideración de acciones térmicas, salvo en aquellos elementos que pueden quedar situados por encima de los niveles de agua o expuestos a las radiaciones solares. Por lo tanto, sus efectos se considerarán especialmente en la verificación de las superestructuras (vigas cantil en obras de atraque fijas cerradas y plataformas en obras de atraque fijas abiertas). En estos casos, dichos elementos se comprobarán considerando los efectos de estas acciones tanto en lo que respecta a la verificación de estados límites últimos estructurales como de estados límite de servicio correspondientes a deformaciones excesivas y a durabilidad.

La decisión de disponer o no de juntas de dilatación como mecanismo para reducir los efectos de las acciones térmicas o reológicas dependerá de la capacidad de las juntas de absorber los movimientos de la estructura, de la posibilidad de limitar el área de extensión de las fisuras con armadura suplementaria, así como, principalmente, de las consecuencias de su aparición para el cumplimiento de las exigencias de impermeabilidad y durabilidad de la misma.

En general, simplifícadamente en estos elementos estructurales de las obras de atraque y amarre, las acciones térmicas, conjuntamente con las reológicas, podrán despreciarse en los cálculos siempre que se dispongan

juntas de dilatación, con distancias entre juntas entre 20 y 40 metros y aperturas de junta entre 20 y 30 mm; en caso contrario, deberán realizarse el proceso de verificación considerando las acciones mencionadas. Dichas distancias deberán ser menores cuando los movimientos de los elementos estructurales puedan estar impedidos o limitados por diferentes causas.

Estos agentes pueden considerarse que son compatibles con el resto de agentes del medio físico, no presentando una correlación significativa con los mismos, tratándose como agentes independientes. En general, podrán considerarse de carácter permanente en el estado meteorológico definido por los agentes climáticos.

Los parámetros o variables de estado que caracterizan este agente son principalmente la temperatura máxima (T_{max}) y la temperatura mínima (T_{min}) del aire a la sombra, medidos a intervalos de una hora, así como la intensidad de la radiación solar.

Estos agentes se definen, tanto para formulaciones de las ecuaciones de verificación en términos deterministas y determinista-probabilista como probabilista, de igual forma que lo dispuesto en el apartado 4.6.2.1 para los otros agentes climáticos y del medio físico a partir de los regímenes extremales y medios marginales de las temperaturas máximas y mínimas del aire en la sombra y de la intensidad de la radiación solar en el emplazamiento. Normalmente no se consideran modos de parada operativa asociados con los agentes térmico. Por tanto, no se definen límites de operatividad asociados con dichos agentes, sin perjuicio de que deban tomarse en consideración en condiciones de trabajo operativas asociadas con otro agente.

En España, a falta de datos en el emplazamiento en número y calidad contrastada, los valores representativos de estos agentes pueden obtenerse del Eurocódigo UNE-ENV-1-5: 2004. Acciones en Estructuras. Acciones generales. Acciones térmicas. Los mapas de isotermas de temperatura máxima y mínima del aire en la sombra correspondiente a un periodo de retorno de 50 años, pueden verse en la figura 4.6.2.7. En el Eurocódigo citado, así como en el documento básico SE-AE. Seguridad estructural. Acciones en la Edificación (2003) del Código Técnico de la Edificación, se incluye la formulación simplificada para obtener las correspondientes a otros periodos de retorno.

4.6.2.3.1. FORMULACIÓN DE LAS ACCIONES DEBIDAS A LOS AGENTES TÉRMICOS (Q_{ft})

Las deformaciones impuestas y consecuentemente cualquier tensión resultante debida a los agentes térmicos sobre un elemento estructural dependen de la geometría y de las condiciones de contorno de dicho elemento, así como de las propiedades térmicas de los materiales empleados en su construcción; en particular el coeficiente de dilatación térmica lineal.

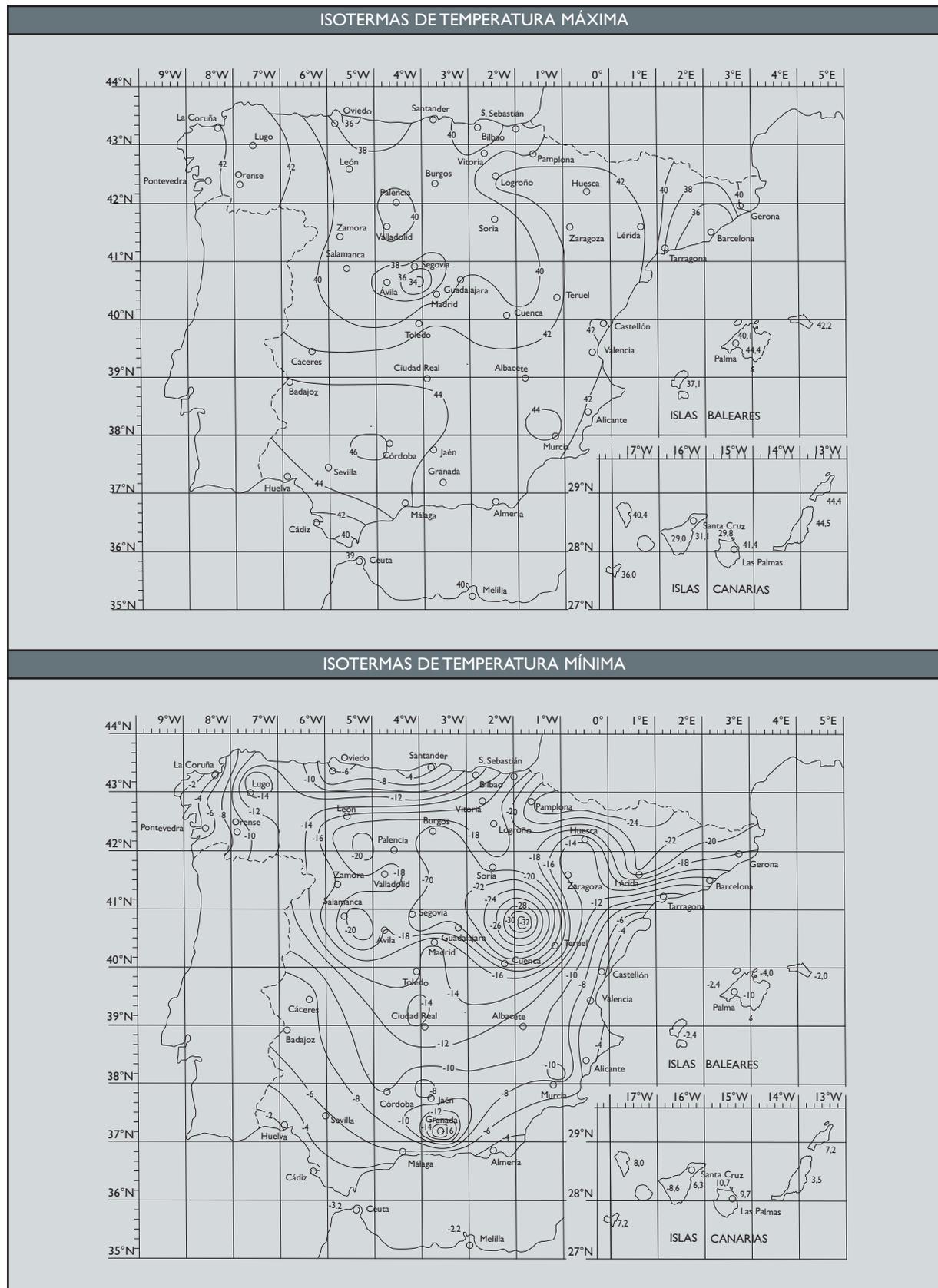
Se define como coeficiente de dilatación térmica lineal de un material (α_T) a la deformación unitaria lineal por unidad de incremento de temperatura efectiva en el mismo. Es decir:

$$\varepsilon = \alpha_T \cdot \Delta T_e$$

Tabla 4.6.2.11. Valores representativos del coeficiente de dilatación térmica lineal

MATERIAL	α_T ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
Acero estructural	12
Acero inoxidable	16
Hormigón (excepto los indicados debajo)	12
Hormigón con árido calizo	9
Hormigón con árido ligero	7
Mampostería	6-10 (dependiendo del tipo de fábrica)
Madera paralela a las fibras longitudinales	5
Madera perpendicular a las fibras longitudinales	30-70 (dependiendo del tipo de madera)

Figura 4.6.2.7. Mapas de Isotermas de las temperaturas máximas y mínimas del aire a la sombra en España, correspondientes a un periodo de retorno de 50 años (nivel de confianza del 90%) en °C



Tal como se ha indicado en el apartado 4.4, esta propiedad del material se considerará de carácter permanente, definiéndose a través de valores nominales asociados con valores medios. A falta de otros datos, podrán adoptarse como valores nominales del coeficiente de dilatación lineal los incluidos en la tabla 4.6.2.11.

Para las vigas cantil y las plataformas de las obras de atraque y amarre, las acciones térmicas podrán caracterizarse considerando únicamente:

- a) Una componente asociada a la variación uniforme de la temperatura (ΔT_N) en el conjunto de la sección del elemento estructural, respecto a la temperatura del mismo en el momento del cierre de juntas o durante la fase constructiva (T_0). Esta componente depende de las temperaturas efectivas mínima ($T_{e,min}$) y máxima ($T_{e,max}$) a la que estará sometida el elemento estructural de la obra de atraque y amarre durante el periodo de tiempo considerado. El incremento o decremento de la temperatura efectiva puede calcularse a partir de las temperatura máxima y mínimas del aire a la sombra por medio de las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \blacklozenge \quad \Delta T_{N,max} &= T_{e,max} - T_0 \\ \blacklozenge \quad \Delta T_{N,min} &= T_{e,min} - T_0 \end{aligned}$$

siendo:

$$\begin{aligned} T_0 &: \text{Temperatura efectiva probable en el momento en que la estructura está realmente coaccionada. A falta de otros datos puede adoptarse } 20^\circ \text{ C.} \\ T_{e,max} = T_{max} &: \begin{aligned} &+ 15,0^\circ \text{ C, en estructuras metálicas} \\ &+ 5,0^\circ \text{ C, en estructuras mixtas} \\ &+ 2,5^\circ \text{ C, en estructuras de hormigón} \end{aligned} \\ T_{e,min} = T_{min} &: \begin{aligned} &- 2,5^\circ \text{ C, en estructuras metálicas} \\ &+ 5,0^\circ \text{ C, en estructuras mixtas} \\ &+ 7,5^\circ \text{ C, en estructuras de hormigón} \end{aligned} \end{aligned}$$

Las funciones de distribución de ΔT_N pueden obtenerse como funciones de distribución derivadas de las correspondientes a las temperaturas máximas y mínimas del aire a la sombra, respectivamente, a partir de la anterior formulación. De igual forma, los valores representativos de ΔT_N podrán obtenerse a partir de los valores representativos de T_{max} y T_{min} . A falta de otros datos, los valores frecuentes y cuasi-permanentes se obtendrán por medio de los coeficientes recomendados en los Eurocódigos para las acciones térmicas (0,60 y 0,50 respectivamente), a partir de los valores característicos asociados a un periodo de retorno de 50 años.

- b) Una componente asociada al gradiente lineal de la temperatura entre superficies opuestas (ΔT_M). Los gradientes a adoptar dependen tanto de los datos climáticos en el emplazamiento (temperaturas de aire a la sombra, radiación solar, emisión de radiación nocturna) como de las características geométricas y las propiedades térmicas de los materiales (conductividad térmica, coeficiente de absorción, coeficiente de emisión, etc...). A falta de otros datos más precisos, simplificada, los valores característicos de las diferencias lineales de temperatura entre las caras opuestas pueden tomarse igual a 15° C tratándose de estructuras metálicas y de 10° C tratándose de estructuras de hormigón. Los otros valores representativos se obtendrán por medio de los coeficientes recomendados en los Eurocódigos a partir de los valores característicos.

Cuando se estime necesario tomar en consideración simultáneamente las componentes uniforme y lineal de la variación de temperaturas se aplicarán las siguientes combinaciones, considerando en los cálculos la que produce los efectos más desfavorables:

$$\begin{aligned} \blacklozenge \quad \Delta T_N + 0.75\Delta T_M \\ \blacklozenge \quad \Delta T_N + 0.35\Delta T_M \end{aligned}$$

En estructuras donde las diferencias de la temperatura efectiva entre los diferentes tipos de elementos que la forman puedan causar efectos de carga adversos, dichos efectos deberán tenerse en cuenta. Además de los

efectos resultantes de una distribución uniforme de temperatura en todos los elementos, deben considerarse los efectos que resultan de una diferencia de temperatura efectiva de 15 °C entre los diferentes elementos estructurales.

En cada estado de proyecto, las acciones térmicas tendrán el mismo carácter que el del agente causante.

4.6.2.4. Agente sísmico (q_{fs})

Se considera agente sísmico a las oscilaciones sísmicas que se generan cuando se producen movimientos entre capas más o menos profundas de la corteza terrestre, las cuales se propagan hasta el lecho de la roca y, posteriormente, por esta masa hasta un determinado emplazamiento, transmitiéndose a continuación a través de las capas de suelo existentes en el mismo hasta alcanzar la superficie del terreno y las estructuras que en él se localizan. Dichas capas de suelo pueden modificar significativamente las características de las ondas sísmicas en origen tanto en amplitud y frecuencia como en duración, debido a la respuesta dinámica de los mismos frente al sismo. Estos efectos locales dependen tanto de las propiedades de los distintos estratos de suelo como de las características de los movimientos sísmicos en origen. Cada perfil de suelo amplifica preferentemente las frecuencias próximas a la propia. Si el sismo da lugar a movimientos verticales del fondo del mar pueden generarse tsunamis (maremotos), formados por ondas de pequeña amplitud en alta mar, que, debido a su facilidad para propagarse a grandes distancias, pueden alcanzar la costa. Al interactuar con la plataforma continental y sus accidentes morfológicos, pueden, por reducirse la profundidad en las proximidades del litoral, por entrar en resonancia con áreas abrigadas naturales o por estrecharse la sección transversal de propagación en estuarios o bahías en "V", dar lugar a grandes amplificaciones de las alturas de ola, generando corrientes de gran magnitud e inundando amplias zonas de costa ⁽²³⁾.

Los movimientos sísmicos pueden afectar a las obras de atraque y amarre al producir efectos dinámicos significativos en el conjunto suelo-estructura-masa de agua, así como variar el comportamiento de los suelos y de los rellenos, tanto en lo que respecta a su capacidad resistente como a su comportamiento deformacional, debido, entre otras causas, a que pueden producirse incrementos importantes de las presiones intersticiales en el mismo hasta, incluso, la anulación total de las presiones efectivas o licuefacción (Ver apartado 3.10. de la ROM 0.5-05). A su vez, los tsunamis pueden afectar a las obras de atraque y amarre produciendo acciones hidrodinámicas adicionales.

La descripción completa y detallada de este agente y de las diferentes variables de estado o parámetros que los caracterizan en un determinado emplazamiento no es objeto de esta ROM, estando previsto que se desarrolle en la ROM 0.6. Agentes sísmicos. También puede consultarse a estos efectos la ROM 0.5-05. Recomendaciones Geotécnicas para obras marítimas y portuarias, así como la ROM 1.0. Recomendaciones para el proyecto y construcción de obras de abrigo en lo que respecta a la caracterización de los tsunamis.

Este agente puede considerarse como compatible con el resto de agentes del medio físico y totalmente independiente de éstos. La manifestación estacionaria de este agente puede definir los siguientes estados:

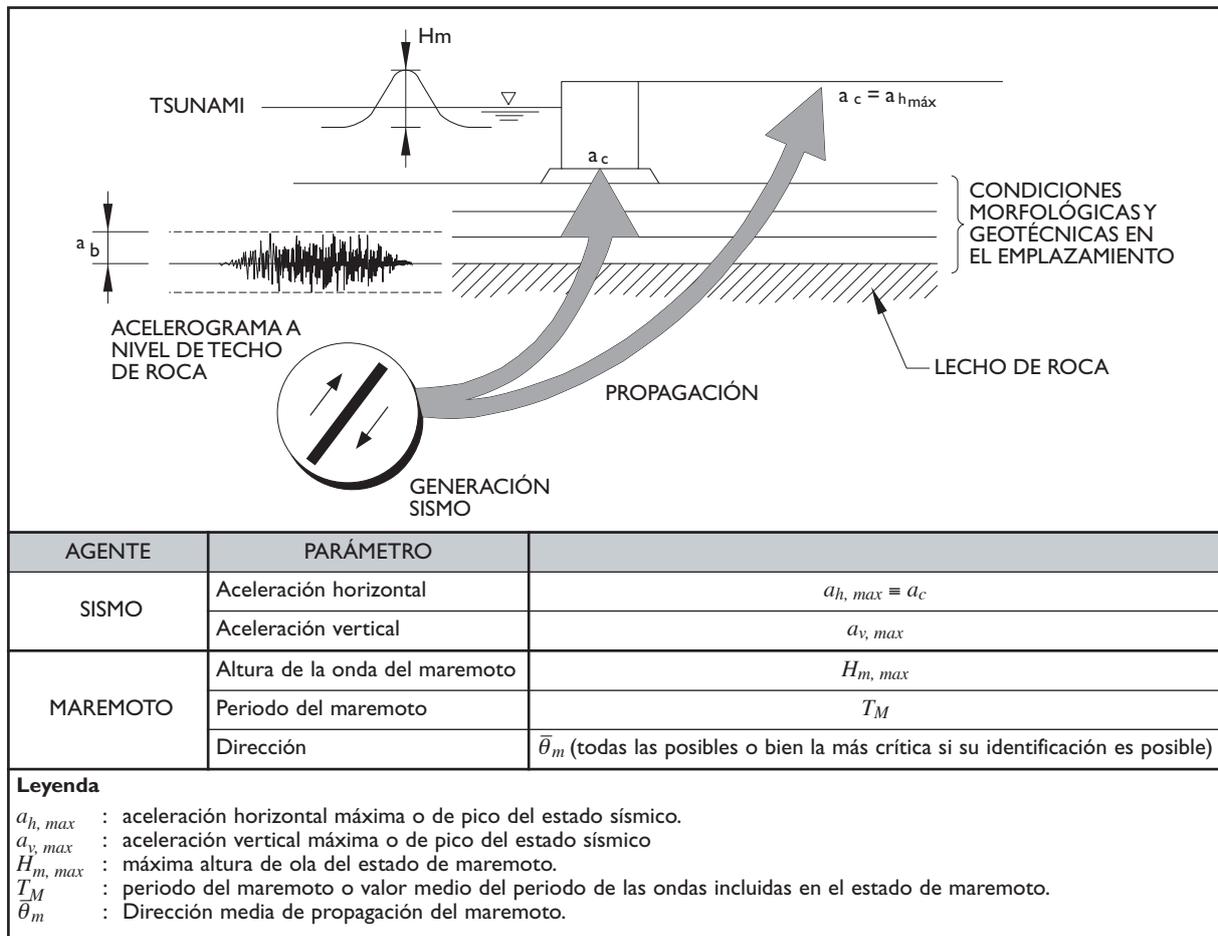
a) Estado Sísmico

Un estado sísmico se define por medio de acelerogramas que representan la variación en el tiempo de las aceleraciones horizontales y verticales que se producen durante la manifestación de un sismo. Los periodos representativos suelen estar en el rango entre 0,05 s y 0,5 s. Se considera que se produce un estado sísmico en un emplazamiento cuando la aceleración horizontal sísmica supera un valor de 0.04g, siendo g la aceleración de la gravedad. La duración del estado sísmico es el tiempo que transcurre entre la primera y la última vez que la aceleración horizontal sísmica en dicho emplazamiento supera el valor de 0,04 g. Dichas duraciones suelen ser pequeñas, del orden de 10 segundos para sismos de magnitud

(23) Los maremotos también pueden ser debidos a causas diferentes a los sismos como deslizamientos y actividad volcánica submarinos, aunque sus características y efectos son idénticos a los producidos por los sismos.

moderada y emplazamientos no muy alejados del epicentro y de 30 s para sismos de magnitud elevada y emplazamiento alejado del epicentro. En general, la variable de estado que define al agente sísmico para su consideración en las obras de atraque y amarre es la aceleración horizontal máxima o de pico (a_c) en el emplazamiento (Ver tabla 4.6.2.12). Dicho parámetro está relacionado con la aceleración horizontal máxima a nivel del techo de roca ⁽²⁴⁾ por medio de coeficientes de amplificación local que dependen de las características morfológicas y geotécnicas del terreno de cimentación. Estos coeficientes de amplificación se recogen generalmente en las normas y códigos sísmicos. En España pueden obtenerse en la Norma de Construcción Sismorresistente. La vigente en 2011 es la NCSE-02. Se admite normalmente que la aceleración vertical máxima está relacionada con la máxima aceleración horizontal.

Tabla 4.6.2.12. Variables de estado relevantes de los agentes sísmicos significativos para obras de atraque y amarre



No será necesario considerar el agente sísmico en el proceso de verificación en aquellos emplazamientos en los que en ningún estado límite de proyecto el sismo sea el agente predominante en un modo de fallo, al mantenerse éste en dicho emplazamiento en niveles inferiores al umbral que define el estado sísmico. Dado que la escala temporal del estado sísmico es mucho menor que la de los estados meteorológicos, puede suponerse que en los estados sísmicos el resto de agentes del medio físico tienen el carácter de permanentes.

(24) La aceleración horizontal máxima a nivel del techo de roca (a_b) se denomina normalmente PGA (del inglés Peak Ground Horizontal Acceleration).

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, el agente sísmico se definirá:

◆ *Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas*

Para la comprobación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos, el estado sísmico se definirá a través de los valores representativos de la aceleración horizontal sísmica. Para probabilidades de fallo en condiciones extremas y excepcionales menores del 5% dichos valores se consignan en la tabla 4.6.2.13 a partir del régimen extremal en el emplazamiento de dicha variable. Para probabilidades de fallo mayores o iguales al 5% se considerarán únicamente condiciones extremas, siendo el valor característico aquél cuya probabilidad de excedencia en la fase de proyecto analizada es igual a la probabilidad de fallo considerada (Ver nota 12) en dichas condiciones (Ver apartado 4.1.1.1.1.b₃).

En general, para la comprobación de modos de fallo adscritos a estados límites de servicio se considerarán en cada condición de trabajo los mismos valores representativos que los adoptados para los modos de fallo adscritos a estados límite últimos. A su vez, no se considerarán modos de parada operativa asociados al sismo y, por tanto, no se definen límites de operatividad asociados a dicha acción. Lo anterior se establece sin perjuicio de tener que verificar la instalación de atraque y amarre considerando que actúa el sismo (condiciones de trabajo extremas y excepcionales) cuando la instalación está tanto en servicio como fuera de servicio.

Tabla 4.6.2.13. Valores representativos de las variables de estado de los agentes de proyecto en un estado sísmico para fase de servicio de obras definitivas (Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos y de servicio con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo)¹⁾

CONDICIÓN DE TRABAJO	AGENTE SÍSMICO	RESTO DE AGENTES
	Valor Característico	Valor nominal o valor cuasi-permanente
Condiciones de trabajo Operativas (CT1)	El sismo no define límites de operatividad ²⁾	
Condiciones de trabajo Extremas Sísmicas (CT3,31)	Periodo de retorno (T_R) de 50 años obtenido de la función de distribución de extremos marginal	Probabilidad absoluta de no excedencia del 50%, tomada del régimen medio
Condiciones de trabajo Excepcionales debidas a la presentación de un Sismo de carácter extraordinario (CT3,32)	Periodo de retorno (T_R) de 500 años obtenido de la función de distribución de extremos marginal	Probabilidad absoluta de no excedencia del 50%, tomada del régimen medio

1) En general, en estados o situaciones de proyecto transitorios, es decir, aquéllos que tienen corta duración respecto a la vida útil de la obra ya sea, entre otros, por causas de la geometría de la obra (fase de construcción), por las características del terreno (fase de consolidación o comportamiento drenado o no drenado del mismo) o por las acciones actuantes (cargas de uso y explotación diferentes en las fases de reparación y desmantelamiento) en condiciones de trabajo extremas se adoptará como valor característico de la acción sísmica el correspondiente a un periodo del mismo orden de magnitud que el de la duración de dicha fase para las situaciones transitorias prolongadas en relación con la duración de la fase de servicio y el doble de dicho valor para casos de transitoriedad menos prolongada con un valor mínimo de 2 años. En situaciones de proyecto transitorias no se considerarán condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de un sismo de carácter extraordinario.

2) No hay condiciones de parada operativa asociadas al sismo y, por tanto, no se definen límites de operatividad asociados con dicha acción. Lo anterior no evita que deba verificarse la instalación de atraque y amarre considerando que actúa el sismo (condiciones de trabajo extremas y excepcionales) cuando dicha instalación está tanto en servicio como fuera de servicio; adoptándose como valor representativo de los agentes de uso y explotación de actuación simultánea con el sismo el valor cuasi-permanente de cada uno de ellos en dichas dos situaciones respectivamente (ver tablas del apartado 4.6.4).

◆ *Para formulaciones probabilistas*

Para formulaciones probabilistas de la ecuación de verificación, el agente sísmico se define a través de la función de distribución extremal de la variable de estado aceleración horizontal máxima o de pico en el emplazamiento.

La función de distribución necesaria tanto para la formulación probabilista como para la definición de los valores representativos del agente sísmico en un emplazamiento puede obtenerse generalmente a partir de las normas y códigos sísmicos que sean de aplicación en dicho emplazamiento. En España pueden obtenerse en la Norma de Construcción Sismorresistente vigente (NCSE-02 en 2011). En dicha Norma, se incluye bajo la denominación de aceleración sísmica básica, a_b , el valor de la aceleración horizontal máxima a nivel de techo de roca asociada a un periodo de retorno de 500 años, correspondiente a cada emplazamiento. A partir de dicho valor, la función de distribución extremal de dicha variable en España puede considerarse definida por la siguiente relación:

$$a_{b|T} = a_b \left[\frac{T_R}{500} \right]^{\frac{1}{2.7}}$$

siendo T_R el periodo de retorno, en años.

La aceleración horizontal máxima en el emplazamiento, tomando en consideración los efectos locales debidos a la configuración morfológica y condiciones geotécnicas del terreno, puede obtenerse a partir de las aceleraciones a nivel del techo de roca por medio de los coeficientes de amplificación que se incluyen en dicha Norma.

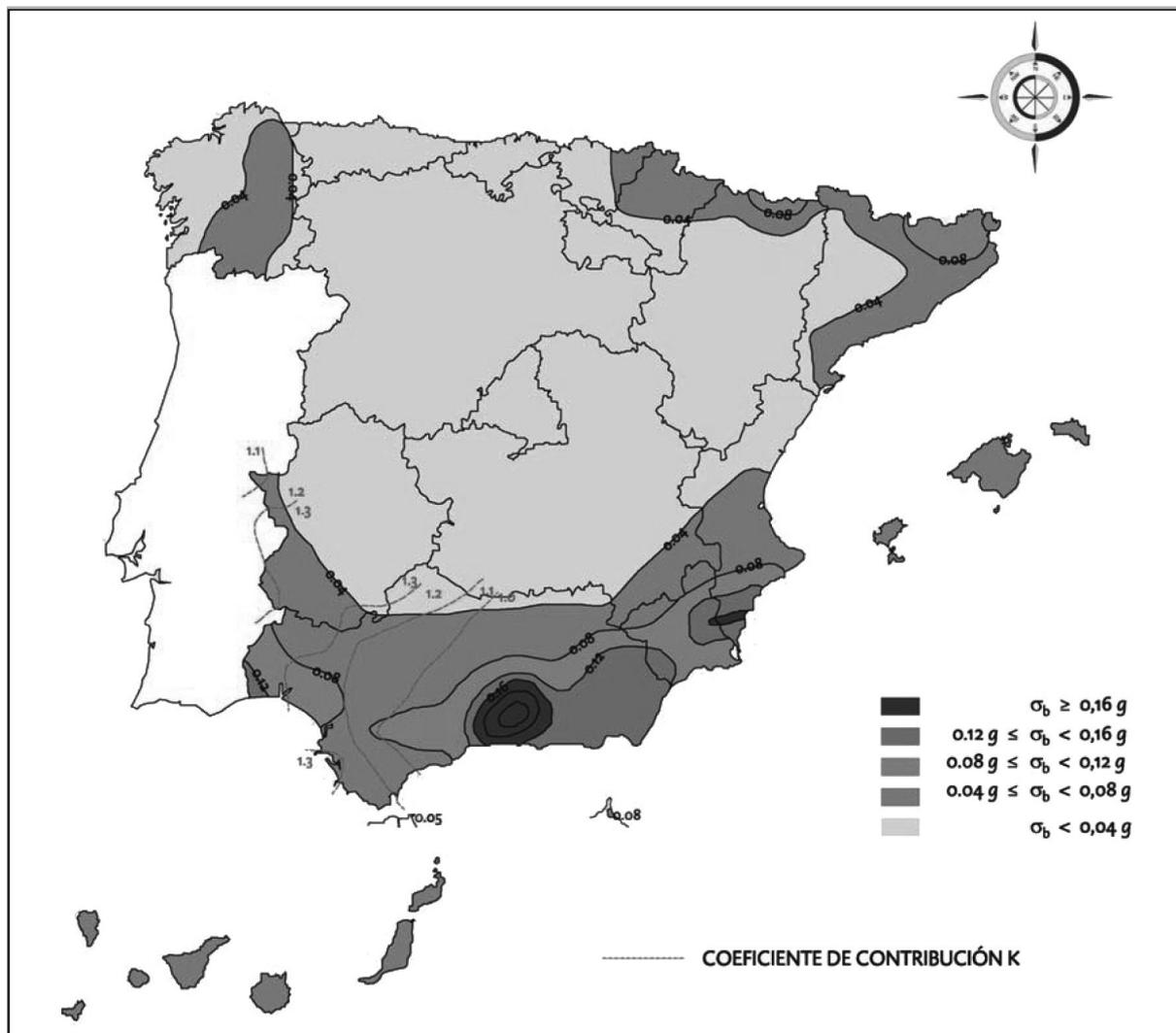
En la figura 4.6.2.8 se recoge el mapa de peligrosidad sísmica, incluido en la Norma NCSE-02, que suministra simplificada los valores de la aceleración básica en los distintos emplazamientos de España.

Tanto para las formulaciones deterministas como semi-probabilistas o probabilistas se pueden usar, si el análisis se realiza en el dominio del tiempo, tanto acelerogramas artificiales como registros reales de movimientos fuertes; su valor máximo, duración y contenido frecuencial deberán ser compatibles con los valores adoptados para la aceleración máxima o de pico, de acuerdo con las condiciones especificadas en los códigos o normas sísmicas. Si el análisis se realiza en el dominio de la frecuencia se pueden usar los espectros normalizados de respuesta elástica de aceleraciones incluidos en los códigos sísmicos, compatibles con la aceleración máxima adoptada y con las características frecuenciales y de amortiguamiento del conjunto suelo-estructura.

b) Estado de Maremoto

Un estado de maremoto se define por medio de una oscilación marina en el emplazamiento que representa la variación en el tiempo de la superficie libre del mar, asociada con la manifestación del tsunami. En las proximidades de la plataforma continental, esta oscilación está formada por una secuencia de desplazamientos verticales de la superficie del mar formada por un número pequeño de grupos de ondas (entre 5 y 10) con periodos generalmente entre 2 minutos y 2 horas y longitudes de onda del orden del centenar de kilómetros, precedida por un descenso del nivel del mar y seguida por un tallo o cola oscilatoria con ondas de periodo más corto. Las características concretas de cada tsunami dependen, entre otros factores, de la magnitud del sismo o causa generadora, de la distancia al epicentro, la profundidad del agua en la zona de generación, de la dinámica de propagación y del periodo propio de oscilación de las zonas costeras. La duración del estado de maremoto, normalmente entre media hora y cuatro horas, depende asimismo del origen y la magnitud del sismo o del correspondiente mecanismo de generación, así como de la dinámica de propagación relacionada con la batimetría.

En general el maremoto se comporta en aguas profundas como un tren de ondas largas, lineales, no dispersivas en frecuencias y amplitudes (la celeridad no depende del periodo ni de la amplitud ya que ésta es pequeña respecto a la profundidad de propagación. $c = \sqrt{gh}$). Durante su transformación y aproximación a la costa algunos maremotos se amplifican notablemente tanto que la celeridad comienza a depender de la amplitud [$c = 1 + (H/2h) \sqrt{gh}$] hasta llegar a romper. En función de la forma inicial de las ondas pueden, además, separarse en solitones (ondas solitarias) y, eventualmente romper. Adicionalmente pueden producirse amplificaciones importantes de la amplitud del maremoto por fenómenos de resonancia en dársenas portuarias, ensenadas, rías y estuarios ya que éste contiene un amplio rango de periodos

Figura 4.6.2.8. Mapa español de peligrosidad sísmica (según norma española NCSE-02)

coincidentes con los periodos naturales de oscilación comunes en las dársenas portuarias (2-4 min) o los estuarios, rías y ensenadas (10-50 min).

Las variables básicas y de estado más relevantes que lo definen son las mismas que las señaladas para el oleaje; en particular se utilizan como variables de estado principales del maremoto la amplitud máxima de las olas generadas y el periodo y la dirección de la misma en el emplazamiento (Ver tabla 4.6.2.12).

A pesar que la escala temporal del estado de maremoto es mucho mayor que la de los estados meteorológicos (tres o cuatro estados meteorológicos) puede considerarse simplícidamente que este agente, definido por una onda cnoidal de amplitud la de la máxima onda del maremoto, se comporta como una variable extraordinaria o accidental en los estados meteorológicos (Caso CT3,2 de la tabla 4.6.2.2). No será necesario considerarlo en el proceso de verificación de los modos de fallo y parada en aquellos emplazamientos en los que a lo largo de la historia tectónica no se tenga constancia de que se hayan presentado maremotos relevantes. En el litoral español tampoco se considerará en estados o situaciones de proyecto transitorios.

Las funciones de distribución de los maremotos son mucho menos conocidas que las de los agentes sísmicos, debido principalmente al escaso número de casos registrados en un emplazamiento determinado, por lo que difícilmente en la actualidad se puede considerar la verificación de las obras portuarias en

ese estado límite mediante formulaciones semiprobabilistas o probabilistas. En general, el maremoto se definirá en cada emplazamiento como un agente extraordinario, caracterizándolo como una onda larga regular, definida por medio de la teoría cnoidal, con un valor nominal de altura de ola y periodo, asociado a la experiencia existente localmente.

En la historia sísmica española no se han producido maremotos relevantes para que los efectos de los mismos deban ser tomados en consideración en los procesos de verificación de las obras portuarias, salvo en la fachada Suratlántica, asociados a la falla Azores-Gibraltar. Si bien se han detectado también maremotos en la costa mediterránea y las islas Baleares, asociados a actividad tectónica en el Mar de Alborán y el norte de África, éstos no pueden considerarse relevantes para los procesos de verificación de las obras portuarias ya que, aunque pueden afectar a la operatividad de las instalaciones portuarias, su intensidad y probabilidad de presentación es muy reducida. Tampoco hay antecedentes tectónicos o de otro tipo que justifique la producción de maremotos significativos en el resto de zonas. En la fachada Suratlántica (golfo de Cádiz) hay referencias históricas de que se han producido maremotos de cierta importancia, aunque no hay información suficiente ni para cuantificarlos detalladamente en tamaño en aguas profundas ni para asociarlos a determinados periodos de retorno. En tanto no se disponga de datos más precisos a través de métodos de evaluación de riesgos de generación de maremotos y de procesos de simulación de consecuencias, se pueden adoptar como valores nominales de las variables de estado del maremoto en el golfo de Cádiz en el borde de la plataforma continental en dicha área (línea batimétrica -1.000) los siguientes, que pueden considerarse representativos de un periodo de retorno del orden de 500 años ⁽²⁵⁾:

- ◆ $H_{m, \max} = 1.80 \text{ m}$
- ◆ $T_m = 20\text{-}40 \text{ min}$
- ◆ Dirección: SW

Los valores nominales de las variables de estado del maremoto en el emplazamiento y en presencia de la obra se obtendrán a partir de dichos valores mediante la aplicación de modelos de propagación no lineales de validez reconocida para este tipo de ondas largas (ver ROM 1.0), tomando en consideración los valores compatibles de los agentes climáticos, particularmente los niveles del agua asociados a mareas (Ver tabla 4.6.2.13), así como las posibles amplificaciones por resonancia o por reducirse la sección transversal en dársenas, estuarios y ensenadas ⁽²⁶⁾.

Dichos valores nominales se considerarán para verificaciones de modos de fallo adscritos a estados límites últimos en condiciones excepcionales asociadas a probabilidades de fallo menores del 5%. En España, para probabilidades de fallo más altas en los cálculos no se considerará la presentación de maremotos. Así mismo, en ningún caso será necesario considerarlos para la verificación de modos de fallo asociados a estados límites de servicio y modos de parada operativa.

4.6.2.4.1. FORMULACIÓN DE LAS ACCIONES DEBIDAS AL SISMO ($Q_{fs,1}$)

Los valores nominales o representativos de las acciones debidas al sismo, así como sus funciones de distribución, pueden obtenerse o derivarse a partir de los correspondientes al agente sísmico.

Las acciones y otros efectos debidos al sismo que deben tomarse en consideración para la verificación de las obras de atraque y amarre son los siguientes:

- (25) Estos datos están asociados a estudios y simulaciones realizados sobre el tsunami causado por el terremoto de Lisboa de 1755, verificados mediante propagaciones inversas de las referencias históricas consideradas más fiables sobre las alturas de ola y sobrelevaciones en costa (run-up) debidas a dicho maremoto alcanzadas en el litoral peninsular español y portugués.
- (26) Simplificadamente, la altura de ola de un maremoto a una profundidad h_1 (H_1) puede obtenerse a partir de la altura de ola de maremoto en aguas profundas a una profundidad h_0 (H_0) por medio de la Ley de Green: $H_1 = [h_0/h_1]^{1/4} H_0$, aplicable a profundidades mayores que la profundidad de rotura ($H/h < 0,8$). Esta formulación es aplicable a costas abiertas en la que son despreciables los fenómenos de reflexión. Si se quiere cuantificar la amplificación de la onda de maremoto al reducirse la sección transversal en estuarios y ensenadas es aplicable también la Ley de Green modificada tomando en consideración la variación de anchura de la sección transversal en dichas áreas (B): $H_1 = [B_0/B_1]^{1/2} [h_0/h_1]^{1/4} H_0$, siempre que los efectos de la reflexión sean así mismo despreciables.

- ◆ *Modificaciones en el comportamiento del terreno natural y de rellenos artificiales debido a la actuación de una acción de carácter dinámico con el sismo, tanto en lo que se refiere a su capacidad resistente y a su comportamiento deformacional como a la generación de incrementos importantes de las presiones intersticiales (Ver ROM 0.5-05)*

De acuerdo con lo señalado en el apartado 3.10. de la ROM 0.5-05, el comportamiento del suelo frente a la acción sísmica podrá considerarse en general que será en condiciones no drenadas para suelos y rellenos con coeficiente de permeabilidad $k < 5 \cdot 10^{-4}$ m/s, dando lugar, especialmente en los suelos granulares limpios, flojos, saturados y de granulometría uniforme, a crecimientos importantes de las presiones intersticiales, a la reducción o anulación de las tensiones efectivas intergranulares y, consecuentemente, a la pérdida de su capacidad resistente frente a las sollicitaciones de corte. Este fenómeno, denominado licuefacción, es una de las principales causas de fallo a tomar en consideración en el proyecto de obras de atraque y amarre en zonas sísmicas. El potencial de licuefacción de suelos y rellenos, así como la verificación de la seguridad frente a dicho fenómeno puede evaluarse de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 3.10.4.2 de la ROM 0.5-05. Cuando el coeficiente de seguridad a la licuefacción no sea aceptable ha de procederse a la realización de tratamientos de mejora o de sustitución de terrenos y rellenos, a la colocación de drenes para facilitar la disipación de las presiones intersticiales generadas o a la utilización de tipologías estructurales reforzadas o menos sensibles a este fenómeno (p.e. obras de atraque fijas de pilotes).

En las situaciones más comunes, los parámetros de resistencia y de deformación del suelo a considerar en los cálculos cuando se verifiquen los estados sísmicos serán los correspondientes a comportamiento no drenado para suelos situados bajo el nivel freático, considerando además la degradación de los parámetros resistentes del suelo debido a la actuación de cargas dinámicas. La excepción son los suelos claramente drenantes en condiciones sísmicas, p.e. escolleras limpias (Ver ROM 0.5-05).

- ◆ *Comportamiento dinámico del conjunto suelo-estructura-agua, que condiciona tanto los esfuerzos y deformaciones de la estructura resistente como las cargas transmitidas al terreno de cimentación*

Dicho comportamiento será tanto más acusado cuanto más próximo sea el periodo propio de vibración de dicho conjunto suelo-estructura-agua al periodo predominante del movimiento sísmico. Las obras de atraque y amarre, excepto las flotantes, tienen periodos propios de oscilación similares a los periodos predominantes en los movimientos sísmicos, por lo que en la mayor parte de los casos es imprescindible analizar el comportamiento dinámico del conjunto suelo-estructura-agua.

El análisis de la interacción suelo-estructura-agua bajo sollicitación sísmica puede realizarse con metodologías diversas de análisis dinámico o con procedimientos empíricos aproximados de carácter pseudoestático (Ver ROM 0.5-05).

- Para análisis dinámicos en el dominio del tiempo: en general la acción sísmica puede representarse mediante un conjunto de fuerzas de inercia nodales iguales a los productos de las masas del suelo por las aceleraciones sísmicas consideradas en el emplazamiento. También deberán tomarse en consideración los empujes hidrodinámicos generados por la presencia tanto de agua intersticial como libre (Ver subapartado empujes hidrodinámicos del agua intersticial y libre en el apartado siguiente). Para análisis dinámicos en el dominio de la frecuencia, la acción sísmica se representa por el correspondiente espectro de respuesta. Las recomendaciones para el modelado de la estructura y del terreno con el objeto de representar adecuadamente sus características inerciales, de rigidez y de amortiguamiento se desarrollan más detalladamente en las sucesivas Recomendaciones de la serie 2 correspondientes a las distintas tipologías estructurales de las obras de atraque y amarre.
- Para análisis pseudoestáticos: únicamente se considerará aceptable la aplicación de procedimientos empíricos pseudoestáticos para la verificación de obras de atraque y amarre fijas cerradas, así como para la verificación de los muros de contención de tierras que, en su caso, formen parte de obras de atraque y amarre fijas abiertas. En estos casos la acción sísmica se representará por el siguiente conjunto de fuerzas estáticas equivalentes horizontales y verticales (Ver tabla 4.6.2.15):

- Fuerzas de inercia de la estructura: fuerzas horizontales y verticales obtenidas como producto de las acciones gravitatorias y variables verticales que actúan sobre la estructura de atraque y amarre (W) ⁽²⁷⁾ por los correspondientes coeficientes sísmicos. A falta de estudios específicos, se tomarán los siguientes coeficientes sísmicos horizontal (k_h) y vertical (k_v):

$$k_h = \alpha \cdot a_{h,max} / g$$

$$k_v = 0,5 \cdot k_h$$

siendo:

- $a_{h,max}$: aceleración horizontal máxima o de pico.
- α : factor que trata de evaluar la flexibilidad de la obra frente al sismo. Se define como el cociente entre el valor de la aceleración correspondiente al estado de equilibrio límite (inicio de los desplazamientos) y el valor que produce el desplazamiento máximo compatible con las condiciones de proyecto. Por tanto, su valor será mayor para obras de atraque que pueden tolerar menores desplazamientos. Los valores de α a adoptar se recogen en la tabla 4.6.2.14.

Se considerará que las fuerzas de inercia actúan en el sentido que produzcan los efectos más desfavorables.

En el caso de obras de pantallas, se pueden despreciar las fuerzas inerciales verticales en la estructura de contención.

Tabla 4.6.2.14. Valores recomendados para el factor α que afecta al coeficiente sísmico para obras de atraque y amarre fijas cerradas

TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL	α (*)
Obras de gravedad	0,5
Obras de recinto de tablestacas	0,5
Obras de pantallas	1
Muros de contención de tierras que, en su caso, formen parte de obras de atraque y amarre fijas abiertas, coaccionados en cabeza	1,35
* En presencia de suelos o rellenos saturados sin cohesión, susceptibles de desarrollar presiones intersticiales elevadas, es recomendable tomar α no menor que 1, independientemente de la tipología estructural.	

- Empujes dinámicos del terreno: la acción sísmica hace que los empujes del terreno se modifiquen respecto a la situación estática. El empuje activo en condiciones sísmicas es mayor que el correspondiente a la situación estática. Por el contrario, el empuje pasivo es menor que el correspondiente a la situación estática. La resultante de los empujes de tierra dinámicos y estáticos que actúan en condiciones sísmicas puede calcularse considerando la condición de equilibrio límite del modelo formado por la estructura, el cimientado y las cuñas activas y pasivas del terreno situadas en el trasdós e intradós de la estructura respectivamente. El cálculo simplificado puede realizarse de acuerdo con la formulación de Mononobe-Okabe recogida en el apartado 3.10.5.2.3 de la ROM 0.5-05, diferenciándose los casos correspondientes a terrenos situados por encima del nivel freático de los situados por debajo. Y en estos últimos, los que tienen un comportamiento drenado y no drenado en el estado sísmico.

(27) En el caso del peso propio se considerará el producto de su masa total (densidad emergida) por la aceleración de la gravedad.

- Empujes dinámicos del agua intersticial: Cuando se consideran condiciones no drenadas, el agua intersticial no es libre de moverse con respecto al esqueleto sólido. En estos casos, puede considerarse que el sismo no produce una presión hidrodinámica adicional a la estática asociada al agua intersticial. Por el contrario, en condiciones drenadas se supondrá que los efectos inducidos por la acción sísmica en el terreno o relleno y en el agua no están acoplados. En este caso, se sumará a las presiones debidas a los niveles de agua en condiciones estáticas un empuje hidrodinámico que puede suponerse igual a la presión hidrodinámica unitaria de Westergaard, dada por la expresión:

$$u_{w,d}(z) = \pm \frac{7}{8} k_h \gamma_w \sqrt{hz}$$

Siendo h la altura del nivel freático medida desde la base de la obra de atraque y z la coordenada vertical, medida hacia abajo, con el origen en la superficie libre del agua.

La integración de esta expresión conduce a un empuje total hidrodinámico igual a:

$$E_{w,d} = \pm \frac{7}{12} k_h \gamma_w h^2$$

Este incremento de empuje puede suponerse aplicado a una profundidad $0,60 h$, medida desde el nivel freático.

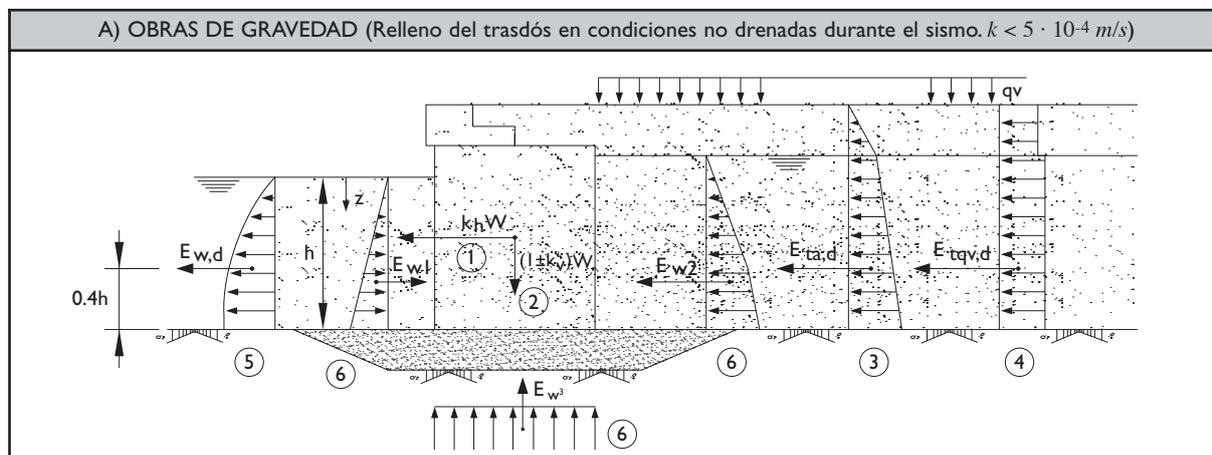
- Empujes hidrodinámicos del agua libre: también deben tomarse en consideración empujes hidrodinámicos del agua libre en el intradós debidos al sismo. A estos efectos, es admisible su aproximación por medio de la formulación de Westergaard.

Solamente podrán aplicarse las especificaciones anteriores si no se pueden producir en el estado sísmico considerado procesos de licuefacción en el terreno natural o en los rellenos.

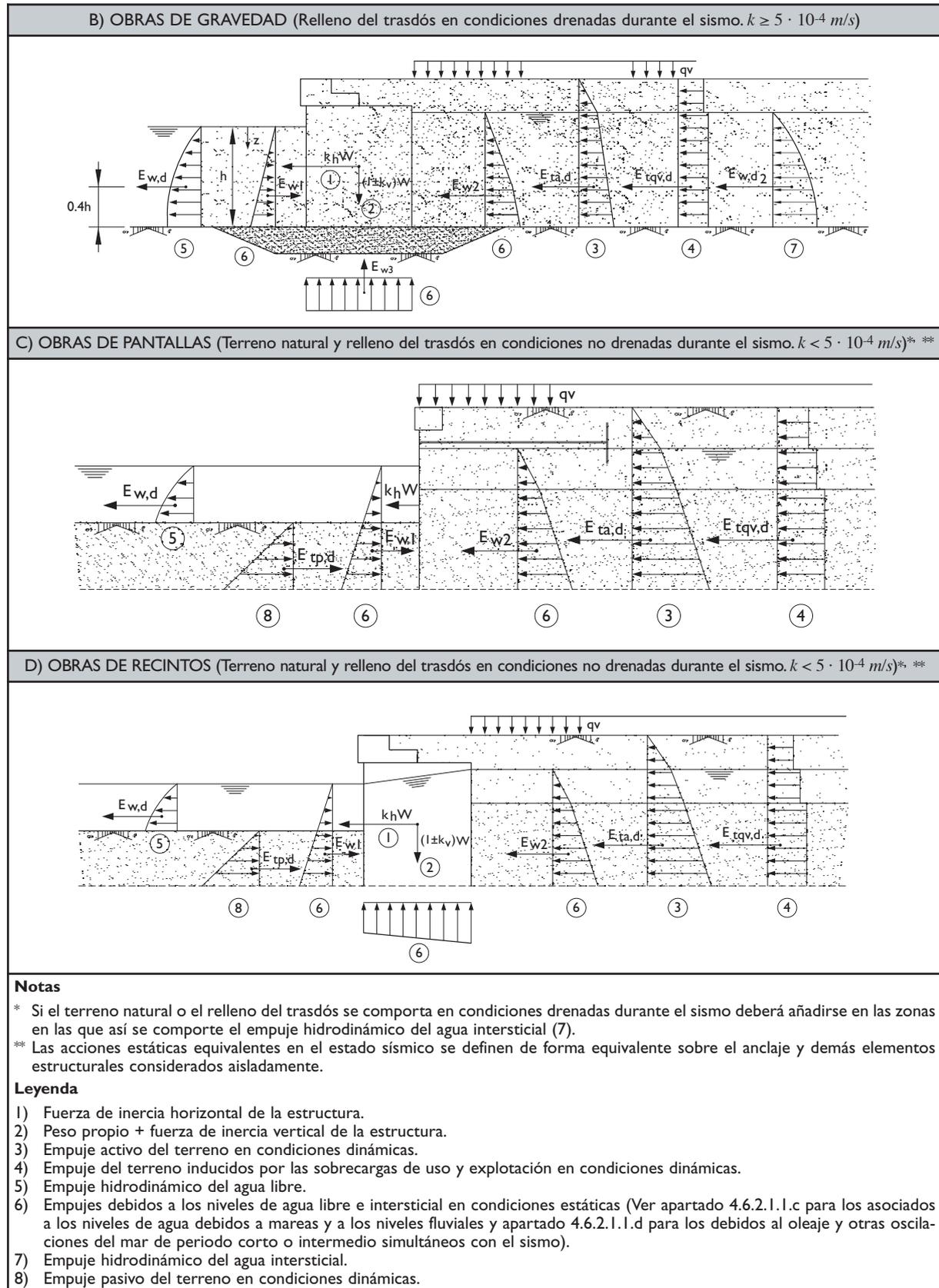
En general, sobre las obras de atraque y amarre flotantes no se considerarán acciones sísmicas, excepto en caso de maremotos. No obstante lo anterior, deberán investigarse los efectos indirectos inducidos por el sismo en la obra a través del movimiento causado en el sistema de amarre y anclaje.

En el estado sísmico, las acciones debidas al sismo tendrán la misma consideración que el agente causante; es decir un carácter variable. No obstante, simplificadaamente podrán considerarse como extraordinarias o accidentales cuando se considere como estado de proyecto el estado meteorológico (Ver tabla 4.6.2.13).

Tabla 4.6.2.15. Acciones estáticas equivalentes en el estado sísmico sobre obras de atraque y amarre fijas cerradas



Acciones estáticas equivalentes en el estado sísmico sobre obras de atraque y amarre fijas cerradas (continuación)



4.6.2.4.2. FORMULACIÓN DE LAS ACCIONES DEBIDAS AL MAREMOTO ($Q_{fs,2}$)

Los efectos de los maremotos sobre las estructuras de atraque y amarre pueden aproximarse a través de fuerzas, presiones, depresiones y subpresiones en la dirección normal a la superficie, dependiendo de las características del tsunami en el emplazamiento, así como de la tipología y dimensiones de la estructura y del régimen hidráulico resultante de la interacción del maremoto con la estructura. A su vez, el maremoto puede generar en el terreno y, en su caso, en las banquetas y en los rellenos del trasdós presiones intersticiales que deben tomarse en consideración para la verificación de la estabilidad de la obra y del terreno. Los valores nominales o representativos de estas acciones pueden obtenerse o derivarse a partir de los correspondientes valores de las variables de estado del agente causante que intervienen en la formulación. En ausencia de técnicas numéricas o experimentales más precisas, dichas acciones pueden aproximarse en algunas situaciones más comunes por medio de las siguientes formulaciones:

◆ *Sobre obras de atraque fijas cerradas*

Debido a las características que presentan las ondas de maremoto (grandes longitudes de onda con crestas apuntadas separadas por senos anchos y planos (onda solitaria), las fuerzas predominantes suelen ser fuerzas de difracción durante el paso de cresta y las presiones hidrostáticas durante el paso de seno.

Las acciones del maremoto en condiciones de no rotura sobre las obras de atraque fijas cerradas de gravedad que puedan considerarse semi-infinitas frente al maremoto ⁽²⁸⁾ o que estén adosadas a la costa se recogen en la tabla 4.6.2.16.

En dicha formulación, simplificada del lado de la seguridad se considera que en la situación de paso de cresta se mantienen los niveles de agua existentes previamente en el trasdós, tanto si la obra de atraque tiene un relleno en dicho trasdós como si no lo tiene. En consonancia con esta hipótesis, puede admitirse que, a menos que las banquetas incluyan un alto porcentaje de finos (ver formulación de la tabla 4.6.2.7), las subpresiones hidrodinámicas en la cresta del maremoto pueden obtenerse considerando condiciones de flujo estacionario entre trasdós e intradós y que los gradientes de presión hidrodinámica se encuentran completamente equilibrados con la disipación que se produce por fricción en la banqueta (distribución triangular).

En la situación de paso de seno del maremoto, si la obra de atraque con banqueta de cimentación granular no tiene un relleno en el trasdós o el relleno es altamente permeable ($K \geq 10^{-5} \text{ m/s}$) se considera que las variaciones de los niveles de trasdós e intradós en situación de actuación del seno del maremoto están acopladas. En este caso, en la situación de paso de seno del maremoto únicamente se considerará que éste produce una ley de subpresiones prácticamente rectangular. En el caso de que el relleno del trasdós tenga baja permeabilidad ($k < 10^{-5} \text{ m/s}$) se considerará, del lado de la seguridad, que se mantiene en dicho relleno el nivel de las aguas existente previamente a la actuación del maremoto. Las subpresiones se estiman a partir del análisis de la red de filtración en el relleno considerando condiciones de flujo estacionario (ver ROM 0.5-05 y apartado 4.6.2.1.1. c. de esta Recomendación).

Para la definición del comportamiento, así como de las presiones intersticiales hidrodinámicas en el terreno natural y las presiones hidrodinámicas que actúan en el fondo del mar en las proximidades de la obra o en la superficie de las coronaciones o taludes de las banquetas externas a la base de la misma, debidas a la actuación del maremoto se tomará en consideración lo establecido al respecto en el apartado 4.6.2.1.1 de esta Recomendación.

Las presiones y depresiones sobre los paramentos enterrados en las obras de pantallas y recintos, así como las presiones intersticiales en un terreno natural homogéneo generadas por el maremoto pueden

(28) Las obras de atraque se considerarán semiinfinitas respecto al maremoto cuando la dimensión frontal de la obra sea manifiestamente mayor que dos veces la distancia existente entre dos puntos consecutivos de paso por el nivel medio del mar en la zona correspondiente a la cresta del maremoto incidente de proyecto en el emplazamiento (pseudolongitud de onda \bar{L}).

aproximarse de igual forma que la definida para el resto de oscilaciones del mar (apartado 4.6.2.1.1); es decir, puede considerarse que, en aquellos casos en los que el terreno tenga un comportamiento completamente drenado frente al maremoto, en el intradós de la zona enterrada se produce una prolongación de la ley de presiones hidrodinámicas definida para el paramento exterior no enterrado. Así mismo cuando el comportamiento del terreno sea parcialmente drenado es admisible considerar un amortiguamiento lineal de las presiones hidrodinámicas actuantes en el fondo debidas al maremoto en una profundidad igual a: $\sqrt{(T_m c_v / \pi)} \leq L_m / 2\pi$, siendo T_m y L_m el periodo y la longitud de onda del maremoto en el emplazamiento, respectivamente, y c_v el coeficiente de consolidación del terreno. En los casos generales puede considerarse que, tanto para el paso de cresta como para el paso de seno, el nivel de las aguas existente en el intradós es el mismo que el existente previamente a la actuación del maremoto. Las presiones hidrodinámicas en el trasdós podrán estimarse a partir del análisis de la red de filtración en dicha zona considerando condiciones de flujo estacionario desde la punta de la pantalla o recinto.

En obras de atraque fijas cerradas que no puedan considerarse como semi-infinitas [$(\bar{L}/6 < D \approx \bar{L})$] o no estén adosadas a la costa, las presiones hidrodinámicas durante el paso de cresta debidas al maremoto se obtendrán mediante la aplicación de modelos de transformación de ondas no lineales que tengan en cuenta especialmente los procesos de difracción, de validez para las condiciones de contorno existentes en la obra y en el emplazamiento, de forma similar a lo dispuesto en el apartado 4.6.2.1.1. d_{12}) de esta Recomendación.

◆ *Sobre obras de atraque fijas abiertas*

La acción del maremoto en condiciones de no rotura sobre los elementos estructurales de sustentación de las obras de atraque fijas abiertas cuando $D < \bar{L}/6$ puede calcularse por medio de la teoría de Morrison utilizada para la definición de las acciones debidas al oleaje sobre ese tipo de estructuras (apartado 4.6.2.1.1 d_{21}), adoptando para la definición de los campos de velocidades y aceleraciones que intervienen en la formulación de las fuerzas de arrastre e inercia el modelo de onda cnoidal. En la literatura especializada así como en la ROM 1.0 pueden encontrarse las formulaciones de dichos parámetros en esta teoría del oleaje. En estos casos, dado que el maremoto se comporta como una onda larga con importantes amplitudes cuando es relevante y las dimensiones usuales de este tipo de elementos, la fuerza de arrastre suele ser, en general, la componente preponderante (Ver figura 4.6.2.3). La validez de esta formulación está condicionada a que no se produzca de forma significativa la alteración de la progresión o la rotura de la onda por alcanzar o superar la cresta la plataforma superior de la obra de atraque. En este último caso para la cuantificación de las acciones es recomendable la utilización de técnicas experimentales en modelo físico.

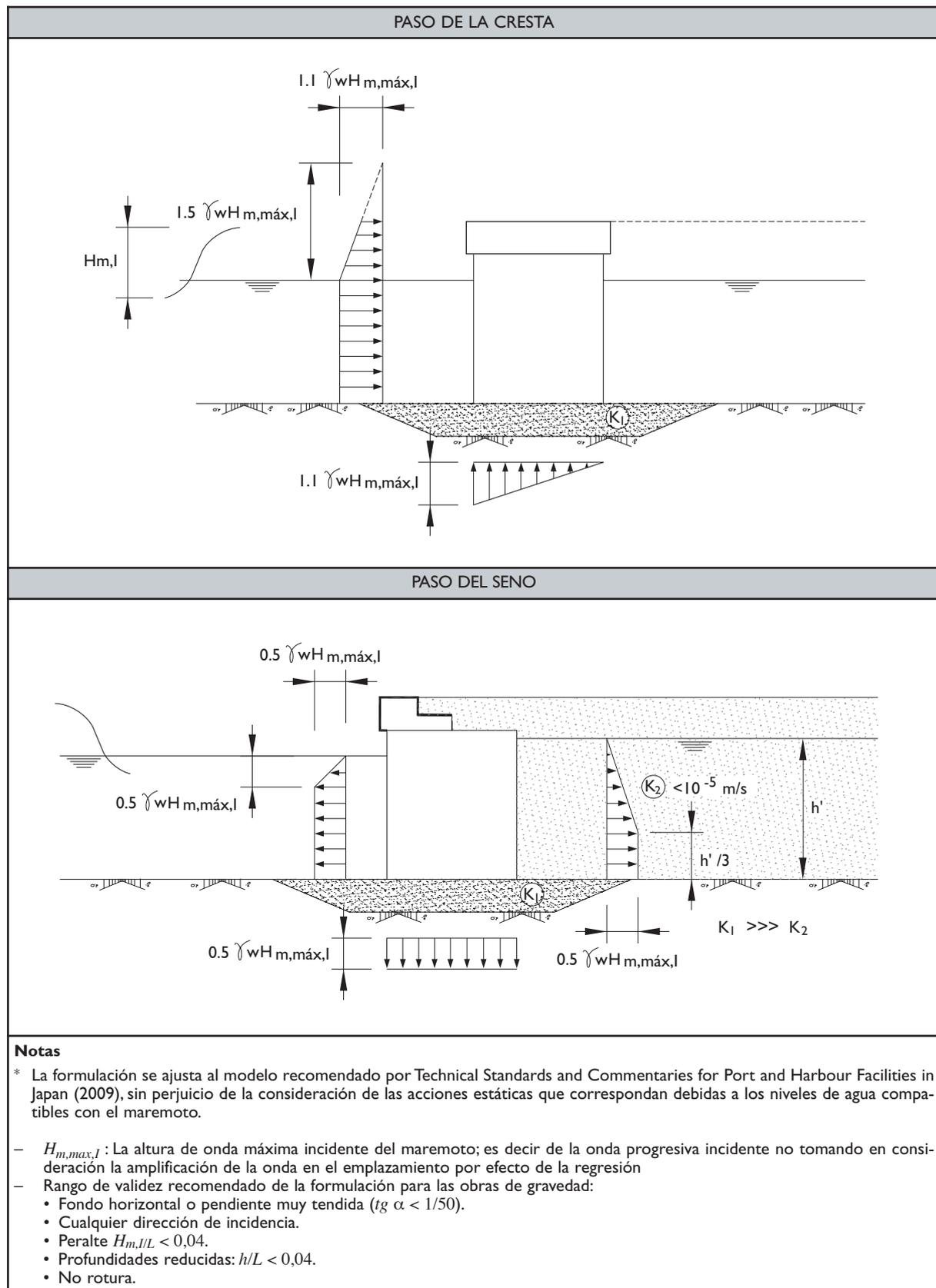
Simultáneamente cuando la plataforma superior de la obra de atraque fija abierta esté situada de forma que durante el paso de la cresta del maremoto éste pueda alcanzar la parte superior o inferior de la misma, deberán considerarse empujes verticales causados por las velocidades y aceleraciones verticales de la masa de agua, así como por la propia inmersión de este elemento estructural. Dados la gran cantidad de parámetros que influyen en este fenómeno, estos empujes tienen una muy difícil evaluación analítica general en magnitud y distribución, por lo que para su cuantificación es recomendable la utilización de técnicas experimentales en modelo físico. Como aproximación puede considerarse que para el empuje ascensional estático equivalente sobre la plataforma por unidad de superficie es aplicable la formulación recomendada para el oleaje en el apartado 4.6.2.1.1 d_{21} . Para la obtención del empuje vertical descendente por unidad de superficie puede considerarse que el rebase sobre la estructura alcanza una altura de $1.50 H_{m,p}$, medida desde el nivel del mar considerado en dicho estado.

En aquellas obras fijas abiertas en las que el tamaño de los elementos de sustentación no cumplan la condición $D < \bar{L}/6$ se considerarán estos elementos a los efectos del maremoto como obras fijas cerradas.

◆ *Sobre obras flotantes*

Dadas las características de los maremotos en las inmediaciones de la costa, muy próximas a la estructura de una onda solitaria, en general las obras de atraque y amarre flotantes con sistemas de amarre

Tabla 4.6.2.16. Acciones del maremoto en condiciones de no rotura sobre obras lineales de atraque fijas cerradas de gravedad semi-infinitas o adosadas a la costa *)



rígidos resultan muy afectadas por el paso de la cresta de un tsunami y muy poco afectadas durante el paso del seno siempre que el sistema de amarre no restrinja el correspondiente movimiento vertical. Para la determinación de las acciones producidas por el paso de la cresta del maremoto sobre este tipo de obras no se dispone de formulaciones analíticas de aplicación generalizable siendo recomendable, tal como se ha señalado para el oleaje, recurrir a técnicas experimentales o numéricas basadas, en este caso, en la aplicación de modelos de transformación de ondas no lineales que tengan en cuenta los movimientos de un cuerpo flotante en el régimen de difracción (Ver apartado 4.6.2.1.1. d_3). No obstante lo anterior, en estructuras flotantes de sección rectangular, con dimensiones perpendiculares a la dirección de propagación del maremoto manifiestamente superiores a la pseudolongitud de onda del maremoto (\bar{L}) (ver nota 28) y profundidades relativas $h/\bar{L} > 0,5$ puede considerarse simplificada que durante el paso de cresta el comportamiento de la obra es similar al de una obra de atraque fija cerrada de dimensión frontal equivalente. De igual forma, para dichas profundidades relativas, cuando la dimensión frontal de la estructura es pequeña en relación con la pseudolongitud de la onda de maremoto (ver nota 28), de forma que no quedan afectadas significativamente sus condiciones de propagación, las acciones debidas al maremoto pueden estimarse de igual forma que lo señalado en esta Recomendación para las obras de atraque fijas de dimensiones frontales equivalentes.

Sobre obras de atraque y amarre flotantes con sistemas de amarre flexibles las acciones debidas al maremoto se pueden estimar de igual forma que para obras de atraque y amarre con sistemas de amarre rígidos; es decir mediante técnicas experimentales o numéricas basadas en la aplicación de modelos de transformación de ondas no lineales que tengan en cuenta los movimientos de un cuerpo flotante en el régimen de difracción, pero considerando que la estructura dispone de seis grados de libertad. La resultante de estas acciones causará una importante fuerza de deriva cuya estimación es difícilmente generalizable.

Para cada estado de proyecto, las acciones debidas al maremoto tendrán igual consideración que este agente. Es decir, normalmente tendrán la consideración de acciones extraordinarias cuando se consideren estados meteorológicos o variables cuando se consideren estados de maremoto.

4.6.3. Agentes del terreno (q_t)

Los agentes del terreno están asociados con las acciones provocadas o transmitidas por el terreno natural y por los rellenos artificiales realizados con materiales de préstamo:

- ◆ Al actuar directamente sobre la obra de atraque o el cimiento ($q_{t,1}$). En este apartado se incluyen las presiones debidas al peso efectivo del terreno como los empujes activo, pasivo y al reposo cuando el suelo puede considerarse un macizo semi-infinito o las debidas al efecto silo cuando el suelo se encuentra en situación confinada.
- ◆ Al afectar indirectamente a la estructura o al cimiento a través de los efectos producidos por movimientos globales de los suelos ($q_{t,2}$). En este apartado se incluyen el rozamiento negativo o los empujes horizontales parásitos en estructuras enterradas causados por desplazamientos laterales del terreno durante procesos de consolidación.
- ◆ Al transmitir a través del suelo acciones que actúan sobre la estructura, los cimientos o la superficie del suelo cuyo origen no está ligado al mismo ($q_{t,3}$). En este apartado se incluyen los empujes adicionales del terreno debidos a las cargas de uso y explotación o a las cargas hidrodinámicas producidas por los agentes del medio físico.

No se incluyen como agentes del terreno las acciones debidas al peso propio de los rellenos soportados o incluidos en la obra, los cuales tendrán la consideración de agente gravitatorio y se definirán de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.1 de esta Recomendación, ni las acciones debidas a la actuación directa sobre la estructura, el cimiento o el terreno natural del agua intersticial que tendrán la consideración y tratamiento de acciones debidas a los agentes del medio físico de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.2, ni las acciones resultantes del comportamiento dinámico del conjunto suelo-estructura-agua en presencia de un sismo que tendrán la consideración de acciones sísmicas de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.2.4. Para un mismo suelo o relleno, las acciones que produce sobre una estructura se considerarán como agente del terreno o como

agente gravitatorio dependiendo del modo de fallo analizado y del modelo de cálculo utilizado. Por ejemplo, las acciones debidas al relleno de las celdas de una obra de atraque de cajones se considerarán como un agente gravitatorio cuando se verifiquen modos de fallo geotécnicos o de inestabilidad externa y como un agente del terreno cuando se verifiquen modos de fallo estructurales o de inestabilidad interna.

Las acciones debidas al terreno en cada estado de proyecto dependen fundamentalmente de las propiedades y geometría del terreno y de las condiciones en que se encuentra el agua intersticial en el mismo, así como del resultado de la interacción suelo-estructura-agua en dicho estado en función del tipo de terreno, de las características geométricas y tipológicas de la estructura y de la naturaleza, magnitud y condiciones de aplicación de las cargas actuantes; es decir, del comportamiento del terreno o del relleno artificial en relación con la evolución de las presiones intersticiales y de la deformación relativa entre el suelo y la estructura.

Para definir las acciones del terreno en cada estado de proyecto, así como para la verificación de los modos de fallo en dicho estado, deberá analizarse la variación simultánea de las propiedades y del comportamiento de los suelos, así como de las presiones intersticiales durante todas las fases de proyecto, tanto en relación con el tiempo (p.e. debidos a procesos de consolidación) como en relación con las cargas actuantes (p.e. durante la actuación de una carga oscilatoria como el oleaje o el sismo, o de una carga impulsiva como las cargas de atraque), con el objeto de tomar en consideración y analizar todos los estados límites que pueden presentarse durante cada una de las fases de proyecto o establecer la compatibilidad entre el comportamiento del terreno y las cargas actuantes. A estos efectos, simplificada mente se considerará que los estados de proyecto se ajustan a alguna de las siguientes situaciones límite:

- ◆ Terreno con comportamiento totalmente drenado.
- ◆ Terreno con comportamiento parcialmente drenado.
- ◆ Terreno con comportamiento no drenado.

En algunos casos (rellenos hidráulicos o determinados rellenos sumergidos recién vertidos) puede ser necesario considerar también una fase líquida. En este caso el suelo se comporta a todos los efectos como un líquido con un peso específico del orden de 12-16 kN/m³.

La evolución de las propiedades y del comportamiento del suelo, así como de las presiones intersticiales con el tiempo en cada tipo de terreno o relleno se analiza en la ROM 0.5-05, particularmente en los apartados 3.4 y 3.9 para los procesos naturales de consolidación y para los procesos de mejora del terreno, respectivamente. Así mismo, su variación en relación con las cargas actuantes se analiza en los apartados 3.4.11 y 3.10 de la ROM 0.5-05 en lo que respecta a las oscilaciones del mar o al sismo, así como en el apartado 4.6 de esta Recomendación, en los subapartados correspondientes a los distintos agentes y acciones oscilatorios o impulsivos cuya presentación puede modificar el comportamiento del terreno y la distribución de presiones intersticiales (niveles de agua, oleaje, sismo, maremoto, cargas de atraque, ...).

Una vez identificadas las propiedades, el comportamiento del terreno y las presiones intersticiales que definen el estado de proyecto o que son compatibles con el mismo, las acciones debidas directamente al terreno ($q_{t,1}$) se considerarán de carácter permanente en dicho estado. Las acciones debidas a los efectos producidos por movimientos globales de los suelos ($q_{t,2}$) así como las acciones transmitidas a través del suelo ($q_{t,3}$) tendrán en dicho estado el mismo carácter que el agente o acción que las origina. Tanto las acciones provocadas como las transmitidas por el terreno se considerarán cargas compuestas, dependientes o correlacionadas con aquellos agentes que bien condicionan las propiedades y el comportamiento del terreno, bien definen la distribución de presiones intersticiales y los niveles de saturación o bien la magnitud de las cargas transmitidas. Por ello, en función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación las acciones provocadas o transmitidas por el terreno se definirán:

a) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas

Para formulaciones determinista y determinista-probabilista de la ecuación de verificación los valores representativos de los agentes del terreno se definirán en cada estado de proyecto considerando:

- ◆ El valor nominal de los parámetros geométricos, definido en el apartado 4.2 de esta Recomendación.

- ◆ El valor nominal o característico de las propiedades del terreno en el estado de proyecto, definido en el apartado 4.3 de esta Recomendación.
- ◆ El valor nominal de las propiedades del medio físico, definido en el apartado 4.5. de esta Recomendación.
- ◆ El valor nominal de las propiedades de los parámetros de interacción suelo-estructura (p.e. ángulo de rozamiento entre paramento y terreno (δ), en general definido a partir de las características de las estructuras y de los valores nominales o característicos de las propiedades del terreno en dicho estado (Ver ROM 0.5-05).
- ◆ Los valores representativos de las variables de estado de los agentes climáticos que definen el estado meteorológico de proyecto, así como de los agentes oscilatorios o impulsivos de actuación simultánea en dicho estado de los que dependa el comportamiento del terreno, las presiones intersticiales, las fuerzas de arrastre y los empujes adicionales del terreno originados por los mismos (Ver la tabla 4.6.2.2 para definir el valor representativo a adoptar para cada uno de los agentes climáticos en cada condición de trabajo en función del agente climático considerado predominante, el apartado 4.6.2.1.1, subapartados c) Acciones debidas a los niveles de agua asociados a mareas y niveles fluviales y d) Acciones debidas al oleaje, el apartado 4.6.2.4.2. Formulación de las acciones debidas al maremoto y el apartado 4.6.4.4.3. Cargas de atraque).
- ◆ Los valores representativos en el estado de proyecto considerado del resto de los agentes y acciones de actuación simultánea sobre la estructura, los cimientos o la superficie del terreno que originan movimientos globales en el terreno o cuyos efectos son transmitidos por éste, con las reducciones admitidas, en su caso, para cargas actuando indirectamente a través del terreno o rellenos sin considerarse amplificación dinámica y efectos inerciales (Ver subapartados correspondientes a cada una de las acciones del apartado 4.6).

b) Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilistas de la ecuación de verificación, las acciones debidas al terreno se definirán por medio de funciones de distribución obtenidas como derivadas de las funciones de distribución de los agentes que las condicionan o de las que dependan en el ciclo de sollicitación considerado. En general, cuando se trabaje en este formato de verificación, para la definición de las acciones del terreno, los parámetros geométricos y las propiedades del medio físico se considerarán de carácter determinista, y se definirán a través de valores nominales, de igual forma que lo dispuesto para las formulaciones determinista y determinista-probabilista.

Para un determinado comportamiento del terreno asociado a una fase de proyecto y un ciclo de sollicitación, en general las propiedades del terreno que se utilicen para determinar las acciones del terreno se considerarán también de carácter determinista, definidas a través de valores nominales, sin perjuicio de que puedan definirse a través de su función de distribución, si es posible disponer de ella, cuando su variabilidad pueda considerarse relevante a estos efectos (Ver apartado 4.3.2.). De igual forma se definirán los parámetros de interacción suelo-estructura cuando puedan derivarse de las propiedades del terreno.

Los agentes climáticos que inciden en el comportamiento y las propiedades del terreno o cuyos efectos sobre la estructura o el cimiento son transmitidos por éste durante el ciclo de sollicitación analizado se introducirán en la formulación de las acciones del terreno a través de las funciones de distribución conjunta de las variables de estado que caracterizan a dichos agentes en dicho ciclo o, simplificada, por las funciones de distribución marginales y condicionadas de los mismos, de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.2.1 de esta Recomendación. De igual forma, el resto de agentes o acciones que inciden en el comportamiento del terreno o cuyos efectos son transmitidos por éste se definirán, en el caso de que su variabilidad sea relevante en el ciclo de sollicitación considerado, por las correspondientes funciones de distribución definidas para cada agente o acción en dicho ciclo (Ver definición probabilística de los agentes y acciones en los subapartados del apartado 4.6 de esta Recomendación correspondientes a cada agente o acción).

4.6.3.1. Formulación de las acciones debidas o transmitidas por el terreno (Q_t)

En la ROM 0.5-05 se dan los criterios y métodos para la determinación de las acciones debidas o transmitidas por el terreno o los rellenos artificiales al actuar directa o indirectamente sobre distintas tipologías estructurales, tomando en consideración todos los factores que inciden en su valoración. Para el caso particular de las obras de atraque y amarre serán aplicables los siguientes criterios:

- ◆ *Empujes debidos a la actuación directa de un macizo de terreno semi-infinito sobre elementos estructurales lineales de pared rígida, de longitud importante en relación con su dimensión transversal, con el desplazamiento lateral no coartado ($Q_{t,11}$)*

En este caso, se considerará que pueden producirse los empujes activo y pasivo, asociados a estados límite de rotura del terreno, el empuje al reposo e, incluso, empujes intermedios en las diferentes zonas de la estructura en función de la dirección del desplazamiento de ésta en relación con el terreno y de la amplitud del mismo. A su vez, dependiendo del estado de proyecto y del ciclo de sollicitación considerados, así como del modo de fallo analizado, para un mismo elemento estructural podrá darse que actúa en la misma zona uno y otro tipo de empuje. En el apartado 3.7 de la ROM 0.5-05 se definen los empujes a considerar en cada caso para la verificación de cada modo de fallo en elementos estructurales de contención de tierras y la forma de determinarlos en función del tipo y geometría del terreno, de su comportamiento, de la distribución de presiones existentes en el mismo y de la geometría y características del trasdós de la estructura (tipo de material, trasdós quebrado, bandejas, pantallas con plataforma superior, ...), así como la influencia que pueden tener en los mismos la existencia de elementos estructurales próximos al trasdós que puedan ejercer un efecto de apantallamiento de los empujes por interferir en las superficies de rotura del terreno (cimentación de vigas carril o plataformas mediante pilotes, ...).

Las obras de atraque fijas cerradas (muelles), tanto de gravedad como pantallas o recintos que puedan considerarse de pared rígida, responden a esta situación. En general, para la verificación de la estructura principal de este tipo de obras respecto a los modos de fallo asociados a estados límites últimos correspondientes a la pérdida de equilibrio estático y a los geotécnicos o de inestabilidad externa se considerará la actuación de empujes activos y pasivos, salvo que el suelo de cimentación sea rígido o poco deformable. Para la verificación de modos de fallo estructurales o de inestabilidad interna puede considerarse, en los casos en que sea más desfavorable, la actuación del empuje al reposo. Para modos de fallo asociados a estados límite de servicio puede ser necesario considerar situaciones intermedias que pueden definirse mediante el análisis de la interacción suelo-estructura, tomando en consideración la variación de los empujes en función de la deformación del terreno (Ver apartado 3.7.11.2. de la ROM 0.5-05). Así mismo, en la parte 4 de la ROM 0.5-05, en los capítulos correspondientes a cada una de las tipologías de las obras de atraque y amarre, se dan recomendaciones más detalladas al respecto.

- ◆ *Empujes debidos a la actuación directa de un macizo de terreno semi-infinito sobre elementos estructurales lineales de pared rígida, de longitud importante en relación con su dimensión transversal, con el desplazamiento lateral coartado por apoyos exteriores o anclajes ($Q_{t,12}$)*

Cuando un macizo de terreno que actúa sobre una estructura de pared rígida comprende zonas cuyo desplazamiento lateral esta limitado (p.e. en obras de atraque fijas abiertas de pilotes, las estructuras de contención de tierras de gravedad que sirven de unión con la plataforma en la coronación del talud, en las que pueda considerarse que los desplazamientos en coronación están coartados por apoyar la plataforma), se producen modificaciones de los empujes unitarios debidos al terreno respecto al estado de rotura activo, en general en el sentido de que aumenta el valor de la resultante de los empujes con una redistribución de los empujes unitarios, aumentando en las zonas próximas a los puntos fijos y reduciéndose en las zonas alejadas de éstos.

De forma general, las leyes de empujes podrán obtenerse resolviendo el problema de interacción suelo-estructura (Ver apartado 3.7.11.2. de la ROM 0.5-05). En la literatura técnica especializada pueden encontrarse aproximaciones teóricas de validez reconocida para algunos casos concretos.

- ◆ *Empujes debidos a la actuación directa de un macizo de terreno semi-infinito sobre elementos estructurales lineales de pared flexible, de longitud importante en relación con su dimensión transversal, con el desplazamiento lateral coartado o no coartado por apoyos exteriores o anclajes ($Q_{t,13}$)*

De igual forma que para el caso de elementos estructurales de pared rígida con desplazamiento lateral coartado, la posibilidad de deformación de las estructuras de pared flexible, con o sin el desplazamiento lateral coartado por apoyos exteriores o anclajes (p.e. obras de atraque fijas cerradas (muelles) de pantallas de tablestacas ancladas o no), modifica las condiciones de rotura del terreno que actúa sobre dicha estructura respecto a las definidas para los estados activo y pasivo. La flexibilidad de la pared permite la descompresión del terreno en sus proximidades, dando como resultado, respecto a los estados citados, aumentos de empujes unitarios en las proximidades de los apoyos, con disminuciones en las zonas intermedias.

El cálculo teórico de los estados de rotura del terreno y de los empujes asociados no es simple, siendo necesarios estudios de interacción suelo-estructura en los que se haga intervenir la capacidad de deformación de la pared conjuntamente con la del terreno (modelos de elementos finitos o modelos de muelles como el indicado en el apartado 3.7.11.2 de la ROM 0.5-05). No obstante, para algunos tipos estructurales, es admisible considerar simplificada mente aproximaciones a leyes de empujes obtenidas mediante métodos empíricos de validez reconocida para los mismos (Método de Blum, de la Carga Portante de Brinch-Hansen, Danés, Rowe, Tschbotarioff, ...). Así mismo en la tabla 3.7.31. de la ROM 0.5-05 se incluyen aproximaciones de las leyes de empujes del terreno que pueden adoptarse en el caso de pantallas flexibles con anclajes múltiples prácticamente indeformables, con terreno homogéneo en el trasdós.

- ◆ *Empujes debidos al terreno en situación confinada, actuando directamente sobre los elementos estructurales ($Q_{t,14}$)*

En aquellos casos en que se presenten disposiciones estructurales próximas y opuestas (p.e. obras de atraque de recintos, celdas de obras de cajones) que contengan o confinen un relleno, también se producen empujes debidos al terreno confinado que difieren de los empujes activos al estar impedido el desarrollo completo de la superficie de rotura correspondiente a dicho estado.

Los empujes del terreno a considerar en estos casos se definen en los apartados 3.7.9.1. Empuje activo en muros paralelos y 3.7.9.4. Efecto silo de la ROM 0.5-05.

- ◆ *Empujes debidos a la actuación directa del terreno sobre elementos estructurales aislados, con dimensiones longitudinal y transversal del mismo orden de magnitud ($Q_{t,15}$)*

Sin perjuicio de lo que específicamente pueda señalar a estos efectos las sucesivas Recomendaciones de la Serie 2 correspondientes a las distintas tipologías estructurales u otros documentos ROM, en los elementos estructurales de pequeña anchura (p.e. pilotes o pilas en obras de atraque fijas abiertas o en duques de alba), en general, salvo estudios de mayor detalle, es admisible calcular aproximadamente los empujes debidos al terreno en aquellas situaciones en las que pueda considerarse que el terreno se encuentra en estados próximos a rotura, como los empujes unitarios por metro lineal, activos o pasivos, correspondientes a estructuras lineales de longitud importante, multiplicados por 3 veces la dimensión del elemento estructural aislado en la dirección perpendicular a la del empuje, con el objeto de tomar en consideración la formación en estos casos de cuñas de rotura del terreno espaciales prismáticas (Ver apartado 3.6.8. de la ROM 0.5-05). Por tanto, esta aproximación será aplicable preferentemente para la verificación de modos de fallo asociados a estados límite últimos.

Otros procedimientos para definir los empujes del terreno sobre estructuras aisladas, aplicables tanto para la verificación de modos de fallo asociados a estados límite últimos como de servicio, son los métodos de análisis que toman en consideración la interacción suelo-estructura. En el apartado 3.6.9. de la ROM 0.5-05 se propone uno de estos métodos en el que las estructuras aisladas (pilotes) se representan mediante una viga elástica y el terreno mediante una serie de resortes cuyas constantes elásticas definen las relaciones carga-desplazamiento en cada punto.

Para alineaciones de elementos estructurales aislados situados próximos unos a otros de forma que puedan interferirse las cuñas de rotura del terreno (separación entre ejes del orden de 3 veces la dimensión del elemento estructural en la dirección perpendicular a la del empuje o una separación menor) (p.e. pantalla discontinua formada por pilotes), los empujes totales podrán aproximarse considerando que son equivalentes a los que se producen en una estructura lineal ficticia de longitud igual a $L_t + 2b_t$, siendo L_t la distancia entre ejes de elementos extremos y b_t el ancho del área equivalente al conjunto de elementos en la dirección del empuje que iguala la suma de áreas individuales de los elementos estructurales en dicha dirección ($b_t = \Sigma A_i / L_t$); siempre y cuando el empuje así obtenido distribuido entre los distintos elementos estructurales no supere al calculado aisladamente.

◆ *Acciones que actúan sobre las estructuras debidas a movimientos globales de los suelos ($Q_{t,2}$)*

Se incluyen en este apartado las acciones de diversos tipos producidas por la oposición que ejerce una estructura resistente a los movimientos de una masa de terreno debidos a causas independientes de la propia estructura. Dichas acciones son, en consecuencia, función de la deformación relativa terreno/estructura y son generalmente relevantes cuando se presentan suelos sueltos o fuertemente compresibles. Estas acciones también se denominan efectos parásitos. Los efectos parásitos más comunes son relevantes principalmente para las estructuras pilotadas, por lo que debe tomarse en consideración su posible ocurrencia y evaluar su importancia en las obras de atraque fijas abiertas de pilotes o pilas y en las cerradas de pantallas con plataforma superior de descarga sustentada por pilotes. Los efectos parásitos más relevantes son:

■ Rozamiento negativo ($Q_{t,21}$)

La situación de rozamiento negativo puede considerarse que se presenta cuando se producen asientos diferenciales de la masa de suelo con respecto a la estructura a partir de 1 cm, debidos entre otras a las siguientes causas:

- Terrenos en fase de consolidación por su propio peso.
- Compactaciones artificiales o técnicas de mejora posteriores a la construcción de la estructura.
- Rebajamientos del nivel freático o modificación artificial de las presiones intersticiales.
- Asientos debidos a la actuación de cargas en superficie.
- Asientos inducidos por el sismo.

Esta acción se define como una carga vertical por unidad de superficie, actuando en todo el perímetro de la estructura en contacto con el terreno. La descripción y cuantificación detallada de la misma se incluye en el apartado 3.6.3.4.1 de la ROM 0.5-05.

■ Empujes horizontales causados por sobrecargas verticales en superficie ($Q_{t,22}$)

Este tipo de empujes horizontales puede considerarse que se presenta cuando se producen movimientos del terreno perpendiculares a la directriz de la estructura, debidos a compresiones verticales no uniformes del mismo, causados generalmente por la actuación en las proximidades de cargas asimétricas (p.e. considerando una distribución asimétrica de la sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento respecto a la estructura analizada). Normalmente no será necesario considerar este efecto cuando la resistencia al corte sin drenaje del suelo (s_u) sea superior al valor siguiente:

$$s_u \geq q \frac{DH}{a}$$

siendo:

- q : presión vertical aplicada en superficie.
- D : diámetro del pilote o pila.
- H : espesor del estrato de suelo blando.
- a : 5 m^2 (valor aproximado).

Esta acción se define como una carga horizontal por unidad de superficie, considerando que actúa sobre la estructura en una anchura virtual función, entre otros factores, del ancho de la zona cargada, del diámetro o ancho de la estructura en la dirección perpendicular el empuje y de los espaciamientos existentes entre los distintos elementos estructurales. La descripción y cuantificación detallada de la misma se incluye en el apartado 3.6.3.4.2 de la ROM 0.5-05.

- Empujes horizontales sobre pilotes en talud ($Q_{t,23}$)

En aquellos casos en que estructuras enterradas retengan o atraviesen masas de terreno potencialmente inestables o en movimiento (p.e. talud de derrame de tierras en una obra de atraque fija abierta de pilotes o de pilas) deberá tomarse en consideración la existencia de empujes horizontales parásitos ocasionados por el terreno sobre la estructura en el momento de la inestabilidad.

Esta acción se define como una carga horizontal aplicada a la pila o pilote a una determinada profundidad enterrada del mismo dentro de la masa deslizante definida por la línea de rotura crítica que haya conducido a su determinación (algunos métodos de cálculo consideran que el punto de aplicación se localiza a 2/3 de la profundidad enterrada del pilote o pila dentro de la masa deslizante). Esta carga total puede admitirse que se distribuye de manera linealmente creciente con la profundidad desde la superficie exterior de la masa deslizante hasta la intersección con la línea de deslizamiento. La descripción y la cuantificación detallada de esta acción pueden realizarse de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 3.6.3.4.3 de la ROM 0.5-05.

La estructura por debajo de la línea de rotura se considerará sometida a los empujes debidos a la actuación directa del terreno sobre elementos estructurales aislados ($Q_{t,15}$).

- ◆ Empujes adicionales debidos a la transmisión a través del terreno de acciones que actúan sobre las estructuras, los cimientos o la superficie del suelo y cuyo origen no está ligado al terreno ($Q_{t,3}$)

La cuantificación de los empujes adicionales debidos a la transmisión a través del terreno de acciones que actúan directamente sobre el mismo o a través de otras estructuras en los estados activo, pasivo y en reposo se incluye en los apartados 3.7.5 a 3.7.8 de la ROM 0.5-05 respectivamente.

Las leyes de empujes adicionales debidas a esta causa en los casos de estructuras lineales de pared rígida con desplazamiento lateral coartado y en las de pared flexible pueden obtenerse resolviendo el problema de interacción suelo-estructura, integrando las cargas actuantes sobre el terreno y la estructura, de acuerdo con lo dispuesto en esta Recomendación para la determinación de los empujes directos del terreno sobre este tipo de estructuras (Ver apartado 3.7.11.2. de la ROM 0.5-05). En la literatura técnica especializada pueden encontrarse aproximaciones teóricas de validez reconocida para algunos casos concretos.

Así mismo los empujes adicionales a considerar en los caso de terreno en situación confinada se definen en los apartados 3.7.9.1. Empuje activo en muros paralelos y 3.7.9.4. Efecto silo de la ROM 0.5-05.

4.6.4. Agentes de uso y explotación (q_v)

Los agentes de uso y explotación que afectan a una obra de atraque y amarre son aquéllos asociados a la normal operativa y uso de la obra tanto por parte del buque como de la mercancía, del pasajero y de los modos de transporte terrestre, así como a las distintas operaciones portuarias necesarias para el embarque y desembarque de pasajeros y para la manipulación de las mercancías y su transferencia entre modos de transporte.

En función de su origen se diferencian los siguientes agentes de uso y explotación:

- ◆ Estacionamiento y almacenamiento de mercancías ($q_{v,1}$).
- ◆ Manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros ($q_{v,2}$).
- ◆ Tráfico terrestre ($q_{v,3}$).
- ◆ Operaciones de los buques ($q_{v,4}$).

Los agentes de uso y explotación tienen el carácter de variables en los estados representativos tanto de los ciclos de sollicitación asociados a condiciones extremas (en general condiciones de inoperatividad de la instalación de atraque) como en los ciclos de sollicitación asociados a la normal explotación de la instalación de atraque (condiciones de trabajo operativas). Asimismo, los agentes de uso y explotación se considerarán de carácter permanente en los estados representativos de los ciclos de sollicitación asociados a la presentación de un agente extraordinario o insólito (condiciones de trabajo excepcionales).

Estos agentes no son excluyentes y por tanto compatibles entre sí, salvo que no puedan actuar simultáneamente debido a razones operativas o por ocupar el mismo espacio físico ⁽²⁹⁾. A su vez, dado que las cargas que definen a estos agentes son, en general, cargas compuestas formadas por la actuación simultánea de varios agentes que inciden sobre ellos (particularmente de los agentes del medio físico), puede considerarse que los agentes de uso y explotación son normalmente agentes dependientes, estando correlacionados entre sí y con los agentes que inciden en su cuantificación.

4.6.4.1. Estacionamiento y almacenamiento de mercancías ($q_{v,1}$)

El agente estacionamiento y almacenamiento de mercancías está asociado fundamentalmente a los pesos de las mercancías y suministros depositados en las áreas de operación y almacenamiento en las que se divide la obra de atraque y amarre en planta, en las condiciones de depósito previstas.

Los parámetros que definen a este agente con carácter excluyente son:

- ◆ Sobrecarga vertical uniformemente repartida ($q_{v,1r}$).
- ◆ Combinación de cargas concentradas verticales ($q_{v,1p}$).

sin perjuicio de las cargas horizontales simultáneas, uniformes o concentradas, que correspondan, derivadas de la actuación del viento sobre las mercancías almacenadas.

Su distribución espacial se considera libre, limitada únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la obra de atraque y amarre. Se adoptará aquella que produzca los efectos más desfavorables para el modo de fallo analizado.

Las sobrecargas y las cargas concentradas definidas no se consideran de actuación simultánea. La que debe considerarse en una ecuación de verificación depende del tipo de obra y del modo de fallo considerado. En general, las sobrecargas repartidas se tomarán en consideración para la verificación de modos de fallo “globales” como los correspondientes a la pérdida del equilibrio estático o los geotécnicos o de inestabilidad externa, independientemente de la tipología estructural. Por el contrario, la combinación de cargas puntuales se tomará en consideración para la verificación de modos de fallo “locales”, como por ejemplo los estructurales o de inestabilidad interna, particularmente en estructuras fijas abiertas y obras de pantallas.

En general, tanto para las formulaciones determinista o determinista-probabilista como probabilistas, las cargas y sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento se definirán a través de valores nominales o representativos, normalmente no determinados de forma estadística sino en base a los límites operativos establecidos por el Promotor para cada área tomando en consideración las reglas y procedimientos de manipulación y transporte de las mercancías y los criterios de explotación, ambientales, legales o de seguridad que se consideren para la obra de atraque y amarre, así como la experiencia de explotación existente localmente para los diferentes usos de la obra de atraque y amarre y tipo de mercancía manipulada. Con carácter general se admitirá que el valor característico de estas cargas y sobrecargas es una estimación prudente del valor máximo que las mismas pue-

(29) En cada uno de los apartados de esta Recomendación en los que se definen los diferentes agentes de uso y explotación se incluyen simplificaciones admisibles sobre la actuación simultánea de los diferentes agentes de uso y explotación, sobre la base de condiciones usuales de explotación portuaria, con el objeto de ayudar al proyectista a obtener las combinaciones más desfavorables para cada modo de fallo, reduciendo y sistematizando toda la casuística posible.

den alcanzar en la fase de proyecto considerada o bien, en su caso, de los límites establecidos en el reglamento de explotación de la instalación. A falta de análisis más detallados sobre la base de la experiencia en el emplazamiento, el resto de valores representativos podrá obtenerse considerando que la función de distribución a la que responden estas cargas es una función normal de media el 80% del valor nominal y coeficiente de variación 0,15. A falta de datos estadísticos, también podrá utilizarse esta función de distribución en las formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación.

Cuando se disponga de una base estadística obtenida de instalaciones similares que permita la determinación de la función de distribución, podrá utilizarse dicha función en las formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación. En formulaciones deterministas o determinista-probabilistas, en este caso se adoptará como valor característico el correspondiente al cuantil de la probabilidad de no excedencia del 95%.

Comentario: Recientes estudios estadísticos realizados en las principales terminales de contenedores en España han permitido estimar las siguientes funciones de distribución de los pesos de las columnas de contenedores (no vacíos) en función de la altura de apilamiento:

1. alturas: Función normal. $N(\bar{x}, \sigma) = N(190kN, 40kN)$
2. alturas: Función normal. $N(2\bar{x}, \sqrt{2}\sigma)$
3. alturas: Función normal. $N(3\bar{x}, \sqrt{3}\sigma)$
4. alturas: Función normal. $N(4\bar{x}, \sqrt{4}\sigma)$
5. alturas: Función normal. $N(5\bar{x}, \sqrt{5}\sigma)$

Estos estudios han mostrado que dicha función de distribución puede considerarse representativa tanto de los contenedores de 20' como de 40', al no ser significativas las diferencias existentes entre los parámetros estadísticos obtenidos correspondientes a cada tipo de contenedores. Por dicha razón, para las cargas de estacionamiento y almacenamiento puede adoptarse idénticas funciones de distribución, considerando del lado de la seguridad para las sobrecargas que éstas son debidas a contenedores de 20' ($6,06 \times 2,44 \times 2,44 \text{ m}^3$) y para las cargas concentradas que son transmitidas por elementos de apoyo de esquina ($0,178 \times 0,172 \text{ m}^2$), considerando los contenedores apilados en bloque (4 esquinas juntas).

A partir de dichas hipótesis los valores representativos de las cargas y sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos se consignan en la tabla 4.6.4.1. Del lado de la seguridad, el valor de combinación fundamental se considerará igual al valor característico.

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación en cada condición de trabajo sea la combinación poco probable o fundamental se utilizarán asimismo los valores representativos consignados en la tabla 4.6.4.1. Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable sea la combinación frecuente o cuasi-permanente se adoptarán como valores representativos de las sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento los valores frecuentes o cuasi-permanentes definidos en dicha tabla para condiciones excepcionales.

Para valorar la operatividad de la instalación, no se consideran modos de parada operativa asociados a las cargas de estacionamiento y almacenamiento. En ausencia de información estadística suficiente y fiable, los valores nominales de las sobrecargas y cargas de estacionamiento y almacenamiento a considerar para el proyecto de obras de atraque y amarre son las siguientes:

a) Sobrecargas repartidas

Una vez conocidos los usos y requerimientos operativos y funcionales establecidos por el Promotor para la obra de atraque y amarre, así como las condiciones de explotación de la instalación, los valores nominales de las sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento para la fase de servicio se obtendrán a través de la siguiente formulación general, siempre que no se hayan fijado límites operativos o no se hayan previsto instalaciones específicas de almacenamiento como depósitos, silos, etc, de dimensiones definidas. En el caso de que se hayan fijado valores límites de explotación para las sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento o se hayan previsto instalaciones específicas de almacenamiento, estos valores tendrán la consideración de valores nominales.

Tabla 4.6.4.1. Valores representativos de las cargas y sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento (Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos)

CONDICIÓN DE TRABAJO ¹⁾	SIN BASE ESTADÍSTICA				CON BASE ESTADÍSTICA			
	Valor característico ($q_{v,1k}$)	Valor de combinación ($\Psi_0 q_{v,ik}$)	Valor frecuente ($\Psi_1 q_{v,ik}$)	Valor cuasi-permanente ($\Psi_2 q_{v,ik}$)	Valor característico ($q_{v,1k}$)	Valor de combinación ($\Psi_0 q_{v,ik}$)	Valor frecuente ($\Psi_1 q_{v,ik}$)	Valor cuasi-permanente ($\Psi_2 q_{v,ik}$)
Condiciones de trabajo Operativas (CT1) ²⁾	Valor nominal	Valor nominal	–	–	Cuantil del 95% de la función de distribución	Cuantil del 95% de la función de distribución	–	–
Condiciones de trabajo Extremas (CT2)	–	Valor nominal	–	–	–	Cuantil del 95% de la función de distribución	–	–
Condiciones de trabajo Excepcionales no sísmicas (CT3,1 y CT3,2) ³⁾	–	–	0.95 x (Valor nominal)	0.80 x (Valor nominal)	–	–	Cuantil del 85% de la función de distribución	Cuantil del 50% de la función de distribución
Condiciones de trabajo extremas o excepcionales por presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	–	–	–	0.80 x (Valor nominal)	–	–	–	Cuantil del 50% de la función de distribución

Notas

- 1) En cada condición de trabajo se considerará simultáneamente la carga horizontal que corresponda derivada de la actuación del viento sobre las mercancías almacenadas, calculada de acuerdo a lo señalado en esta Recomendación, adoptando como valores representativos de la velocidad y dirección del viento los correspondientes al estado de proyecto analizado y como altura de las mercancías sobre la que actúa el viento la que le corresponda a cada valor representativo de la carga vertical, considerando que ésta se reduce en igual proporción que éste respecto al valor nominal. Por ejemplo, si las condiciones de trabajo normales operativas están definidas por un valor umbral de velocidad del viento en una determinada dirección se adoptará dicha velocidad y dirección del viento. En condiciones extremas, para probabilidades de fallo menores del 5% se adoptará la velocidad del viento en la dirección considerada correspondiente a un periodo de retorno de 50 años o de 5 años respectivamente con las consideraciones señaladas para el caso de variables direccionales, dependiendo si el viento es el agente climático predominante que define el estado meteorológico de proyecto considerado o no es el predominante pero es independiente de éste (Ver tabla 4.6.2.2). En ambos casos la altura de las mercancías a adoptar será la que corresponde al valor nominal de las cargas verticales.
- 2) No se consideran modos de parada operativa asociados a las cargas de estacionamiento y almacenamiento, aunque si que debe considerarse la actuación simultánea de dichas acciones en la verificación de la obra en cualquiera de las condiciones de trabajo operativas que se analicen (operación de atraque, permanencia de buques, ...). En esos casos no se considerará que las cargas y sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento son las cargas variables predominantes de la combinación de acciones al haberse adoptado el valor de combinación igual al valor característico.
- 3) Para la verificación de modos de fallos adscritos a estados límite últimos en condiciones de trabajo excepcionales (CT3,1 y CT3,2) se adoptará el valor frecuente o el valor cuasi-permanente en función de que las cargas de estacionamiento y almacenamiento se consideren o no las cargas variables predominantes para el modo de fallo analizado.

◆ Para todos los usos, excepto contenedores

$$q_{v,1rk} = 0,8 \cdot \gamma_{ap} \cdot H_{a,max}$$

siendo:

γ_{ap} : Peso específico aparente de la mercancía o suministros que van a estacionarse o almacenarse en la obra de atraque, considerando tanto la naturaleza y tipo de mercancía como su forma de presentación y, en su caso, elemento de transporte, en las condiciones medioambientales más desfavorables. Para materiales con poca capacidad de drenaje, situados a la intemperie o regados con asiduidad deberá utilizarse el peso específico saturado en el metro superior, salvo que existan experiencias locales que apoyen otra hipótesis. A falta de otros datos, podrán tomarse para las mercancías más usuales en zonas portuarias, tanto a granel como envasadas o ubicadas en diferentes elementos de transporte (contenedores,

semirremolques, etc.), los valores de pesos específicos aparentes consignados en la tabla 4.6.4.2.

- $H_{a,max}$: Altura máxima de estacionamiento o almacenamiento de la mercancía o suministro. A falta de prescripciones específicas del Promotor, el Proyectista fijará justificadamente la altura máxima de estacionamiento y almacenamiento en base a las condiciones de explotación establecidas para la zona y área considerada, tomando en consideración fundamentalmente:
- La zona considerada y el uso de la misma.
 - La naturaleza y tipo de mercancía o suministro, así como su forma de presentación.
 - Las características de los equipos e instalaciones de manipulación.
 - El lugar de almacenamiento (explanadas exteriores o instalaciones específicas (tinglados, depósitos, muros de retención,...)).
 - El talud natural de los graneles sólidos ($\text{ctg } \phi$, siendo ϕ el ángulo de rozamiento interno del material) en relación con el espacio disponible en planta (Ver tabla 4.6.4.2).

Los valores de este parámetro en explanadas exteriores, considerando condiciones usuales de explotación de cada mercancía, se consignan en la tabla 4.6.4.3.

◆ *Para usos de contenedores*

- $q_{v,1rk} = 15 \text{ kN/m}^2$, para contenedores vacíos apilados en hasta 4 alturas.
- $q_{v,1rk} = 18 \text{ kN/m}^2$, para contenedores llenos apilados en 1 altura.
- $q_{v,1rk} = 30 \text{ kN/m}^2$, para contenedores llenos apilados en 2 alturas.
- $q_{v,1rk} = 45 \text{ kN/m}^2$, para contenedores llenos apilados en 3 alturas.
- $q_{v,1rk} = 60 \text{ kN/m}^2$, para contenedores llenos apilados en 4 alturas.
- $q_{v,1rk} = 75 \text{ kN/m}^2$, para contenedores llenos apilados en 5 alturas.

Simultáneamente con las sobrecargas repartidas verticales y con la misma distribución espacial que éstas se considerará una sobrecarga repartida horizontal debida a la acción del viento actuante sobre las mercancías estacionadas o almacenadas, adoptando como valor representativo de la velocidad del viento en magnitud y dirección el correspondiente al estado de proyecto considerado (Ver nota de la tabla 4.6.4.1). Las cargas de viento sobre las mercancías estacionadas o almacenadas se determinarán de acuerdo con lo dispuesto en los apartados 3.2.2.2 a 3.2.2.5 de la ROM 0.4-95. Las superficies expuestas al viento se fijarán de forma compatible con las alturas de estacionamiento o almacenamiento asociadas con los distintos valores representativos de las sobrecargas verticales.

Con los valores nominales de las sobrecargas verticales se adoptarán las siguientes alturas: $0,8H_{a,max}$ para todos los usos excepto contenedores y altura de apilado para usos de contenedores. Con el resto de valores representativos de las sobrecargas verticales se considerará que la altura de apilamiento o almacenamiento se reduce en igual proporción que la de estos valores respecto al valor nominal.

Para las fases de construcción, reparación y desmantelamiento, se adoptarán como valores nominales de las sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento los compatibles con las necesidades de estacionamiento o acumulación de materiales previstas durante los procesos constructivos, de reparación o desmantelamiento.

◆ *Sobrecargas verticales mínimas*

No obstante lo anterior, en previsión de posibles variaciones en las condiciones de utilización y criterios de explotación de la obra de atraque y amarre durante las diferentes fases de proyecto, es recomendable que se adopten como mínimo como valores nominales de las sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento los consignados en la tabla 4.6.4.4 en función de las fases de proyecto y, en el caso de la fase de servicio, de los usos y sistemas de manipulación genéricos asignados a la obra de atraque y amarre. La verificación de la obra con la sobrecarga mínima no excluirá su comprobación con sobrecargas mayores surgidas de la concepción del proyecto.

Tabla 4.6.4.2. Pesos específicos aparentes y ángulos de rozamiento interno de mercancías y suministros usuales estacionados o almacenados en zonas portuarias, según forma de presentación

GRANELES		γ_{ap} (kN/m^3)	ϕ (°)	MERCANCÍAS APILADAS		γ_{ap} (kN/m^3)
GRANELES SÓLIDOS				MERCANCÍAS APILADAS		
MINERALES				MINERALES		
Alúmina	17	35	50(hum)/28(sec)	Bauxita (en sacos)	9	
Mineral de aluminio (bauxita)	14			Mineral de cromo (en cajas)	25	
Mineral de cobre (piritas)	26	45		Mineral de manganeso (en sacos)	15	
Mineral de cromo	26	40		Mineral de níquel (en sacos)	16,5	
Mineral de estaño (casiterita)	20	38		Mineral de níquel (en barriles)	14,5	
Mineral de hierro (limonita y magnetita)	30	40		PRODUCTOS METALÚRGICOS Y SIDERÚRGICOS		
Mineral de magnesio	15	35		Acero (en barras)	30	
Mineral de manganeso	24	45		Acero (en bobinas)	28	
Mineral de plomo (galena)	28	40		Acero (en lingotes)	36	
Mineral de zinc (blenda)	18	38		Acero (en planchas)	35	
Pirita tostada	14	45		Aluminio (en lingotes)	12,5	
PRODUCTOS QUÍMICOS					Cobre (en bobinas)	11
Abonos artificiales	12	40	Cobre (en lingotes)	35		
Abonos minerales	12	30	Cobre (en planchas)	35		
Azufre	12	40	Estaño (en lingotes)	34		
Carburo	9	30	Zinc (en lingotes)	25		
Fosfatos	11	35	PRODUCTOS QUÍMICOS			
Potasas	11	35	Azufre (en sacos)	10		
COMBUSTIBLES SÓLIDOS				Azufre (en barriles)	7,5	
Briquetas de lignito amontonadas	8	30	Fertilizantes (en sacos)	9		
Carbón de leña en trozos	4	45	Potasas (en sacos)	10		
Coque de hulla	5	40	COMBUSTIBLES SÓLIDOS			
Hulla en bruto húmeda	10	45	Briquetas de lignito (apiladas)	13		
Hulla pulverizada	7	25	Turba (en pacas)	5		
Hulla en residuos de lavadero	12	0	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN			
Hulla en otras formas	8,5	30	Arena (en cajas)	6		
Leña en astillas	2	45	Caolín (en sacos)	7,7		
Leña troceada	4	45	Cemento (en sacos)	15		
Lignito seco	7	35	Cemento (en barriles)	10		
Lignito húmedo	10	40	Yeso (en sacos)	8,3		
Serrín de madera asentado o húmedo	5	45	MADERAS Y DERIVADOS			
Serrín de madera suelto	2,5	45	Caucho (en balas, sacos o cajas)	5		
Turba seca	1,0	35	Caucho (en láminas)	6		
Turba húmeda	9,5	–	Corcho	2,4		
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN				Madera blanda	7	
Arena seca	17	30	Madera dura	10		
Arena saturada	20	30	Papel (en bobinas)	15		
Arena de pómez	7	35	Papel (en fardos)	11		
Cal en polvo	13	25	Pasta de papel (balas prensadas)	6		
Cal en terrón	13	45	Serrín (en sacos)	3		
Caolín	9,5	35	Tableros	6,5		
Cascote o polvo de ladrillos	13	35	Traviesas	7,7		
Cemento en polvo	16	25	PRODUCTOS ALIMENTICIOS			
Cenizas volantes	14	25	Arroz (en barriles)	5,3		
Clinker de cemento	15	30	Arroz (en sacos)	7		
Escoria de alto horno granulada	12	25	Avena (en sacos)	4,3		
Escoria de alto horno troceada	17	40	Azúcar (en sacos)	16		
Escoria de alto horno machacada espumada	9,0	35	Bebidas (en barriles)	6		
Granito labrado	13	35	Café (en sacos)	5,5		
Grava seca	16	40	Carne congelada (en cajas)	4,8		
Grava saturada	20	40				

Pesos específicos aparentes y ángulos de rozamiento interno de mercancías y suministros usuales estacionados o almacenados en zonas portuarias, según forma de presentación (continuación)

GRANELES		γ_{ap} (kN/m ³)	ϕ (°)	MERCANCÍAS APILADAS	γ_{ap} (kN/m ³)
GRANELES SÓLIDOS					
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN				PRODUCTOS ALIMENTICIOS	
Mármol labrado		13	35	Carne congelada (en sacos)	4,4
Piedra caliza (en rocas)		17	35	Carne en lata (en cajas)	6
Piedra partida		18	40	Cebada (en sacos)	6
Yeso y escayola		15	25	Centeno (en sacos)	6,3
PRODUCTOS DE DESECHO				Cocos (en cajas)	4
Basuras de demolición		13	35	Cocos (en sacos)	5,3
Escombros urbanos		6	–	Cítricos (en cajas)	4
Estiércol apelmazado		18	45	Haba de soja (en sacos)	7,2
Estiércol suelto		12	45	Harinas (en barriles)	6,6
Chatarra pesada		16	35	Harinas (en sacos)	8,5
Chatarra ligera		12	30	Huesos (en sacos)	6
PRODUCTOS ALIMENTICIOS				Leche condensada (en barriles)	5
Azúcar		10	35	Leche condensada (en cajas)	5
Carne congelada		3,5	–	Leche en polvo (en sacos)	5,3
Cereales:	Arroz	6	25	Maiz (en sacos)	6,5
	Avena	5	30	Mantequilla (en barriles o cajas)	6
	Cebada	6,5	25	Pescado fresco o congelado (en cajas)	5
	Centeno	8	35	Plátanos (en cajas)	2,6
	Maiz	7,5	25	Queso (en cajas)	7
	Mijo	7	25	Sal (en cajas)	7
	Trigo	7,5	25	Sal (en sacos)	9
Colza		7	25	Semillas de girasol (en cajas)	5
Forrajes		1,7	–	Semillas de girasol (en sacos)	4,8
Frutas y hortalizas		7,5	30	Tapioca (en sacos)	6,5
Haba de soja		8,5	60	Té (en fardos)	3,5
Harina de cereal o soja		6	45	Trigo (en sacos)	6,5
Harina de pescado		8	45	Tubérculos (en cajas)	4
Hielo (en bloques)		8,5	–	Tubérculos (en sacos)	6
Huesos		4	–	Uvas (en cajas)	2,5
Legumbres		8	30	Vegetales (en cajas)	6
Malta triturada		4	45	Vegetales (en sacos)	5
Piensos		5	45	PRODUCTOS ANIMALES Y VEGETALES	
Remolacha azucarera desecada y cortada		3	40	Algodón (en balas)	3,7
Sal común		12	40	Esparto (en balas)	2,5
Sal de roca		22	45	Heno (en pacas)	3
Semillas de girasol		5,5	–	Heno (en balas)	7
Sémola		5,5	30	Lana (en balas prensadas)	13
Tubérculos		7,5	30	Pieles húmedas (en balas)	5,5
PRODUCTOS VEGETALES				Pieles secas (en balas)	2
Lino		6	25	Pieles secas (en balas prensadas)	10
GRANELES LÍQUIDOS				Tabaco (en pacas)	5.0
PRODUCTOS PETROLÍFEROS				PRODUCTOS PETROLÍFEROS	
Alquitrán		10-13	–	Productos petrolíferos (en barril)	5
Betún		14	–	ACEITES	
Crudo de petróleo		7,5-10	–	De pescado (en barriles)	6
Fueloil		8-10	–	Látex (en barriles)	7
Gasoil		8	–	Melazas (en barriles)	5,5
Gasolina		7,5	–	Vegetales (en barriles)	5,5
Gases licuados (gas natural, metano,...)		5-7	–	VEHÍCULOS	
Keroseno		8,3	–	Vehículos a motor	2,5
				Vehículos a motor (chatarra en jaulas)	10

Pesos específicos aparentes y ángulos de rozamiento interno de mercancías y suministros usuales estacionados o almacenados en zonas portuarias, según forma de presentación (continuación)

GRANELES	γ_{ap} (kN/m^3)	ϕ (°)
GRANELES LÍQUIDOS		
PRODUCTOS QUÍMICOS		
Acido clorhídrico al 40%	12	–
Acido nítrico al 40%	12,5	–
Acido sulfúrico al 50%	14	–
Acetona	8	–
Alcohol etílico	8	–
Anilina	10	–
Bencina	7	–
Benzol	9	–
Sulfuro de carbono	13	–
ACEITES		
De creosota	11	–
De linaza	9,5	–
De minerales	9,3	–
De pescado	9	–
De ricino	9,7	–
Glicerol (glicerina)	12,3	–
Látex	10	–
Melazas	12,5	–
Vegetal	9,2	–
VINOS, BEBIDAS Y DERIVADOS		
Agua dulce	9,8	–
Agua salada	10,1	–
Cerveza	10,1	–
Leche	10,1	–
Vino	10	–

Tabla 4.6.4.3. Alturas máximas usuales de apilamiento de mercancías y suministros en explanadas exteriores de áreas portuarias (considerando condiciones usuales de explotación) ¹⁾

USOS	NATURALEZA Y TIPO DE MARCANCÍAS O SUMINISTROS	$H_{a,max}$ (en m)	
		En área de operación	En área de almacenamiento
COMERCIAL	GRANELES SÓLIDOS		
	Ordinarios o pulverulentos	3,00	10,00
	Pesados (minerales)	3,00	15,00
	MERCANCÍA GENERAL CONVENCIONAL		
	Paletizada	2,00	5,00
	No paletizada Ordinaria	3,00	7,00
	No paletizada Pesada	2,00	5,00
	En barriles	2,00	5,00
	Vehículos vacíos (sin instalación específica de almacenamiento)	1,50 (1 altura)	1,50 (1 altura)
	CONTENEDORES		
	Estacionamiento y almacenamiento sin plataforma o semiremolque	5,00 (2 alturas)	5,00-12,00 (2-5 alturas)
	SUMINISTROS PASAJEROS		
	Paletizados	2,00	–
No paletizados	3,00	–	

Alturas máximas usuales de apilamiento de mercancías y suministros en explanadas exteriores de áreas portuarias (considerando condiciones usuales de explotación) ¹⁾ (continuación)

USOS	NATURALEZA Y TIPO DE MARCANCÍAS O SUMINISTROS	$H_{a,max}$ (en m)	
		En área de operación	En área de almacenamiento
PESQUERO	Pescado (en cajas) y suministros	2,50	2,50
NAÚTICO-DEPORTIVO	Suministros	2,00	2,50
INDUSTRIAL		3,00 ²⁾	3,00 ²⁾
MILITAR	Suministros	3,00	3,00

Notas

- 1) Las alturas máximas de apilamiento de mercancías y suministros consignadas en esta tabla son las usuales cuando se almacenan en explanadas exteriores sin instalaciones específicas de almacenamiento. En instalaciones específicas de almacenamiento (depósitos, tanques, silos ...) pueden alcanzarse alturas mayores de 20 -30 m.
- 2) Las alturas que se incluyen en esta tabla son de aplicación para obras de atraque de instalaciones dedicadas tanto a la construcción y reparación de buques como de plataformas offshore. Para otros usos industriales asociados con la recepción o salida de materias primas, así como de productos elaborados, coincidirán con las correspondientes establecidas para el uso comercial equivalente.

b) Cargas concentradas

Las cargas concentradas de estacionamiento y almacenamiento dependen de los usos y requerimientos operativos y funcionales establecidos por el Promotor para la obra de atraque y amarre y, fundamentalmente, de los sistemas para el apoyo de las mercancías (p.e. durmientes), así como de los elementos de transporte (p.e. contenedores, semirremolques, etc.) que se prevea que utilicen la obra de atraque y amarre. Los valores nominales de dichas cargas coincidirán con los límites operativos fijados, en su caso, por el Promotor para la fase de servicio en función de las condiciones de explotación establecidas para la instalación, así como por el Promotor o por el Proyectista para las fases de construcción, reparación y desmantelamiento.

Con las cargas concentradas verticales de estacionamiento y almacenamiento no se considerarán cargas horizontales de actuación simultánea derivadas de la acción del viento sobre las mercancías estacionadas o almacenadas.

◆ Cargas concentradas mínimas

En el caso de que no se hayan fijado valores límites de explotación, se adoptarán para usos comerciales los siguientes valores nominales de las cargas concentradas mínimas de estacionamiento y almacenamiento en fase de servicio:

■ Para graneles sólidos

No se consideran cargas concentradas mínimas de estacionamiento y almacenamiento (están cubiertas por las de tráfico viario).

■ Para mercancía general convencional

En el área de operación

- Ordinaria: $q_{v,1pk} = 400 \text{ kN}$, con presiones de contacto de 0,80 MPa
- Pesada: $q_{v,1pk} = 900 \text{ kN}$, con presiones de contacto de 1,80 MPa

En el área de almacenamiento

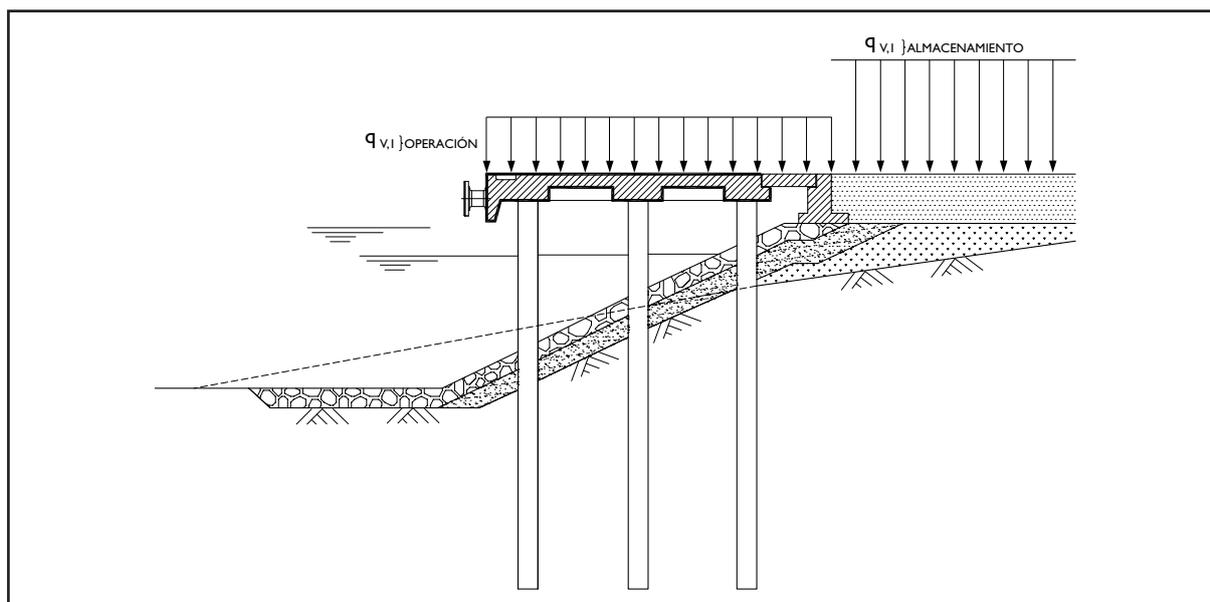
- Ordinaria: $q_{v,1pk} = 700 \text{ kN}$, con presiones de contacto de 1,50 MPa
 - Pesada: $q_{v,1pk} = 1.200 \text{ kN}$, con presiones de contacto de 2,00 MPa
- y superficies de reparto cuadradas en todos los casos.

■ Para contenedores

En función de la altura de apilamiento establecida por el Promotor para cada una de las áreas, las cargas concentradas mínimas serán:

- $q_{v,1pk} = 150 \text{ kN}$, con presiones de contacto de $1,30 \text{ MPa}$ (equivale a contenedores vacíos de 40' apilados en bloque y 4 alturas).
- $q_{v,1pk} = 300 \text{ kN}$, con presiones de contacto de $2,60 \text{ MPa}$ (equivale a contenedores llenos de 40' apilados en bloque y en 1 altura).
- $q_{v,1pk} = 530 \text{ kN}$, con presiones de contacto de $4,60 \text{ MPa}$ (equivale a contenedores llenos de 40' apilados en bloque y en 2 alturas).
- $q_{v,1pk} = 710 \text{ kN}$, con presiones de contacto de $6,20 \text{ MPa}$ (equivale a contenedores llenos de 40' apilados en bloque y en 3 alturas).
- $q_{v,1pk} = 825 \text{ kN}$, con presiones de contacto de $7,20 \text{ MPa}$ (equivale a contenedores llenos de 40' apilados en bloque y en 4 alturas).
- $q_{v,1pk} = 880 \text{ kN}$, con presiones de contacto de $7,70 \text{ MPa}$ (equivale a contenedores llenos de 40' apilados en bloque y en 5 alturas).

Tabla 4.6.4.4. Valores nominales mínimos de las sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento en obras de atraque y amarre



El diagrama muestra una sección transversal de un muelle con pilas de contenedores. Se indican dos tipos de cargas: $q_{v,1}$ OPERACIÓN (cargas puntuales) y $q_{v,1}$ ALMACENAMIENTO (cargas distribuidas). El muelle está sostenido por pilas y tiene un nivel de agua a su izquierda.

EN LAS FASES DE CONSTRUCCIÓN, REPARACIÓN Y DESMANTELAMIENTO						
		Operación ¹⁾		Almacenamiento ¹⁾		
		$q_{v,1rk}$ (kN/m^2)	H_a ³⁾ (m)	$q_{v,1rk}$ (kN/m^2)	H_a ³⁾ (m)	
		10	2,5	10	2,5	
EN LA FASE DE SERVICIO						
USOS	SISTEMAS DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS	Área operación ¹⁾		Área almacenamiento ¹⁾		
		$q_{v,1rk}$ (kN/m^2)	H_a ³⁾ (m)	$q_{v,1rk}$ (kN/m^2)	H_a ³⁾ (m)	
COMERCIAL	Graneles Líquidos	— ⁵⁾				
		Sistemas continuos	10 ⁴⁾	1,5	30	4,0
		Sistemas discontinuos	20	2,5	30	4,0

Valores nominales mínimos de las sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento en obras de atraque y amarre (continuación)

EN LA FASE DE SERVICIO								
USOS			SISTEMAS DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS	Área operación ¹⁾		Área almacenamiento ¹⁾		
				$q_{v,1rk}$ (kN/m ²)	H_a ³⁾ (m)	$q_{v,1rk}$ (kN/m ²)	H_a ³⁾ (m)	
COMERCIAL	Graneles sólidos	Ordinarios o pulverulentos	Sistemas continuos	10	1,5	100	8,0	
			Sistemas discontinuos	30	2,5			
		Pesados	Sistemas continuos	10	1,5	200	12,0	
			Sistemas discontinuos	50	2,5			
	Mercancía general	Carga convencional	Ordinaria	Sistemas discontinuos por elevación	30	2,5	60	5,5
			Pesada	Sistemas discontinuos por elevación	60	1,5	100	4,0
		Contenedores		Sistemas discontinuos por elevación	20	2,5 ⁶⁾	60	10 ⁷⁾
		Ro-Ro y Ferris		Medios rodantes	30	2,5	50	4,0
				Medios rodantes + elevación				
		Multipropósito		Medios rodantes + elevación	30	2,5	100	8,0
	Pasajeros	Ferris		Medios rodantes	10	1,5	50	4,0
				Medios rodantes + elevación	20	2,5		
		Cruceros y otras			10	1,5	20	2,5
PESQUERO				15	2,0	15	2,0	
NAÚTICO-DEPORTIVO	No accesibles al tráfico rodado			5	0,8	—	—	
	Accesibles al tráfico rodado			10	1,5	15	2,0	
INDUSTRIAL				100 ⁸⁾	2,5	100 ⁸⁾	2,5	
MILITAR				50	4,0	50	4,0	
Notas								
<p>1) Las áreas de operación y almacenamiento se definen de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 3.2.1.7 de esta Recomendación. Si durante la fase de redacción del proyecto el Promotor no determinara las condiciones de uso y explotación de la instalación se considerará únicamente la sobrecarga mínima correspondiente al área de almacenamiento, afectando a toda la obra de atraque y amarre.</p> <p>2) Las sobrecargas mínimas de estacionamiento y almacenamiento en las fases de construcción, reparación y desmantelamiento no serán de aplicación a las obras de atraque y amarre flotantes ni a las fijas que no sean accesibles al tráfico viario.</p> <p>3) Alturas de apilamiento a los efectos de definir las sobrecargas horizontales debidas a la actuación del viento sobre las mercancías estacionadas o almacenadas compatibles con las sobrecargas verticales mínimas consignadas en esta tabla.</p> <p>4) Las sobrecargas mínimas de estacionamiento y almacenamiento en la fase de servicio en obras de atraque y amarre para graneles líquidos, correspondiente al área de operación, no serán de aplicación a monoboyas, campos de boyas y otras obras flotantes que no sean accesibles al tráfico viario.</p> <p>5) En general, las obras de atraque y amarre para graneles líquidos manipulados mediante sistemas continuos carecen propiamente de un área de almacenamiento aneja a la obra de atraque (monoboya, campo de boya o pantalán discontinuo) con efectos para la verificación de la misma. Por dicha razón, no se proponen sobrecargas mínimas en áreas de almacenamiento para estos usos. En el caso de que existiera previsiones de almacenamiento anejo a la obra de atraque, deberán considerarse específicamente las características y distribución de los depósitos asociados a cada tipo de granel líquido, y una sobrecarga de 20 kN/m² en el espacio entre depósitos.</p> <p>6) Equivale a una altura de estacionamiento de un contenedor.</p> <p>7) Equivale a una altura de almacenamiento de cuatro contenedores.</p> <p>8) Las sobrecargas mínimas son de aplicación para las obras de atraque de instalaciones dedicadas tanto a la construcción y reparación de buques como de plataformas offshore. Para otros usos industriales asociados con la recepción o salida de materias primas, así como de productos elaborados, coincidirán con las correspondientes establecidas para el uso comercial equivalente.</p>								

En el caso de que los criterios de explotación establezcan específicamente apilamientos en fila podrán reducirse las cargas concentradas anteriores a la mitad, manteniéndose las presiones de contacto.

No obstante, en previsión de posibles variaciones en los criterios de explotación es recomendable adoptar como mínimo la carga concentrada definida para apilamiento en bloque y una altura en áreas de operación, así como la correspondiente a apilamiento en bloque y 4 alturas en áreas de almacenamiento.

- Para ro-ro, ferris y pasajeros
 - $q_{v,1pk} = 70 \text{ kN}$, con presiones de contacto de 40 MPa ⁽³⁰⁾
- Para multipropósito

Se considerarán las cargas concentradas y presiones definidas para mercancía general convencional ordinaria.

- Para graneles líquidos, así como para los usos pesquero y náutico-deportivo, en áreas accesibles al tráfico rodado, se considerarán las cargas concentradas definidas para ro-ro, ferris y pasajeros. Para estos usos, en áreas no accesibles al tráfico rodado se considerará una carga concentrada de estacionamiento y almacenamiento de $4,5 \text{ kN}$.
- Para usos industriales se aplicarán las cargas concentradas correspondientes a carga convencional pesada en obras de atraque de instalaciones dedicadas a la construcción y reparación de buques, así como a la construcción o reparación de plataformas offshore. Para otros usos industriales asociados con la recepción o salida de materias primas, así como de productos elaborados, las cargas concentradas de estacionamiento y almacenamiento coincidirán con las correspondientes establecidas para el uso comercial equivalente.
- Para uso militar se considerarán tanto las cargas concentradas definidas para carga convencional ordinaria como las definidas para ro-ro, ferris y pasajeros.

4.6.4.1.1. FORMULACIÓN DE LAS ACCIONES DEBIDAS A LOS AGENTES DE ESTACIONAMIENTO Y ALMACENAMIENTO ($Q_{v,1}$)

Las sobrecargas y cargas concentradas de estacionamiento y almacenamiento solicitan a las obras de atraque y amarre bien de forma directa, bien indirectamente a través de otros elementos estructurales, superestructuras o capas de reparto, así como aumentando los pesos y empujes producidos por el terreno natural o los rellenos sobre los que actúan.

Los criterios de distribución de dichas cargas tanto cuando actúan directamente sobre un elemento estructural como cuando lo hacen indirectamente a través de otros elementos estructurales, superestructuras o capas de reparto, así como a través de rellenos son idénticos a los establecidos en esta Recomendación para las acciones debidas a los agentes de manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros (ver apartado 4.6.4.2.5).

Los pesos y empujes adicionales debidos a las sobrecargas y cargas de estacionamiento y almacenamiento pueden obtenerse de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 3.6 de la ROM 0.5-05 para las obras fijas abiertas y en el apartado 3.7 de la misma Recomendación para las obras fijas cerradas.

Para cada estado de proyecto, las acciones de estacionamiento y almacenamiento tendrán igual consideración que el agente, independientemente de que éste actúe directa o indirectamente sobre la obra de atraque. Así mismo, los valores representativos de estas acciones y sus funciones de distribución pueden obtenerse o derivarse de los correspondientes al agente causante por medio de las relaciones funcionales existentes entre ambos.

(30) Del lado de la seguridad, se consideran la carga y presión de contacto debidas a las ruedas metálicas de $0,088 \text{ m}$ de anchura y $0,225 \text{ m}$ de diámetro que sirven de apoyo a un semirremolque estacionado.

4.6.4.2. Manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros ($q_{v,2}$)

4.6.4.2.1. MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS EN ÁREAS DE OPERACIÓN

El agente manipulación de mercancías en las áreas de operación está asociado con las cargas transmitidas por los equipos e instalaciones necesarios para la realización de las actividades de carga, descarga, estiba, desestiba y trasbordo, las cuales permiten la transferencia de las mercancías entre buques o entre éstos y tierra u otros medios de transporte, así como para las actividades de transporte horizontal y depósito necesarias para el estacionamiento de las mismas en las condiciones previstas en dicha área y para su traslado a las áreas de almacenamiento o a otras zonas dentro o fuera de la zona de servicio del puerto.

En las obras de atraque y amarre se distinguirán los siguientes agentes de operaciones de manipulación de mercancías en áreas de operación en función del sistema de manipulación considerado para las operaciones de carga, descarga, estiba, desestiba o trasbordo, compatible con los usos y los requerimientos operativos establecidos para la obra de atraque y amarre (ver tabla 2.3.1), y de su variabilidad espacial:

- ◆ *Mediante sistemas discontinuos por elevación ($q_{v,21}$)*
 - Equipos fijos y de movilidad restringida ($q_{v,211}$), como grúas y pórticos, que bien son fijos o circulan sobre carriles o bandas con limitación de movimientos según un eje de traslación.
 - Equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación ($q_{v,212}$), como grúas móviles sobre neumáticos u orugas, sin limitación direccional de movimientos.
 - Equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito sobre neumáticos de movilidad no restringida ($q_{v,213}$), como carretillas elevadoras frontales (forklift truck) o laterales (side loader truck), carretillas puente (straddle carriers), carretillas lanzadera (shuttle carriers) y apiladores de alcance (reach stackers).
- ◆ *Mediante sistemas discontinuos por medios rodantes ($q_{v,22}$)*
 - Equipos de movilidad no restringida ($q_{v,221}$), como cabezas tractoras con plataformas rodantes de bajo gálibo (Roll trailers) o plataformas sin ruedas (cassettes) y carretillas elevadoras.
- ◆ *Mediante sistemas continuos ($q_{v,23}$)*
 - Sistemas de carga y descarga de graneles líquidos ($q_{v,231}$), como mangueras, tuberías flexibles y brazos articulados que pueden ser fijos, de movilidad restringida con limitación de movimientos según un eje de traslación e incluso de movilidad no restringida sobre chasis.
 - Sistemas de carga y descarga de graneles sólidos ($q_{v,232}$), como cargadores (longitudinal, en arco o lineal) o descargadores (elevadores de tornillo o de cangilones, rotopalas,...), montados en general sobre equipos fijos o de movilidad restringida.

Excepto en el caso de sistemas fijos, de movilidad restringida y continuos, la distribución espacial de las cargas transmitidas por los equipos de manipulación de mercancías se considera libre, limitada únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la obra de atraque y amarre. Se adoptará aquella que produzca los efectos más desfavorables para el modo de fallo analizado. De igual forma, la distribución espacial de las cargas transmitidas por los equipos de manipulación de mercancías de movilidad restringida se considerará libre en su banda de rodadura.

Las cargas debidas a las operaciones de manipulación de mercancías asociadas con cada diferente tipo de sistema de manipulación no se considerarán entre sí de actuación simultánea por razones operativas. Incluso en aquellas obras de atraque y amarre en las que se considere que el sistema de manipulación de mercancías pueda ser simultáneamente por elevación y por medios rodantes (obras de atraque de uso comercial ro-ro, ferris y multipropósito) no se considerarán entre sí de actuación simultánea en el mismo espacio físico al ser común por criterios de seguridad alejar lo máximo posible en el espacio este tipo de maniobras.

A su vez, los diferentes tipos de equipos que pueden operar formando parte de un mismo sistema de manipulación son, en principio, compatibles entre sí, salvo que ocupen el mismo espacio físico o la operación conjunta simultánea no sea posible. No obstante, salvo que el Promotor lo establezca específicamente en los criterios de explotación de la instalación, simplificada en operaciones mediante sistemas discontinuos por elevación no se considerarán de actuación simultánea equipos de elevación fijos y de movilidad restringida (p.e. grúas pórtico) con equipos de elevación de movilidad no restringida (p.e. grúas móviles).

En general, en base a condiciones usuales de explotación portuaria, para la verificación de modos de fallo “globales” será suficiente considerar de forma simplificada sobre el área de operación la más desfavorable para el modo de fallo una vez analizadas las siguientes combinaciones:

- ◆ Cuando la manipulación de mercancías se realiza mediante sistemas discontinuos por elevación:
 - (Cargas transmitidas por los equipos de elevación fijos y de movilidad restringida) + (la más desfavorable de las siguientes: sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento ó cargas de tráfico terrestre).
 - (Cargas transmitidas por los equipos de elevación fijos y de movilidad restringida) + (la más desfavorable de las siguientes: carga transmitida por un equipo auxiliar de transporte horizontal y depósito).
 - (Cargas transmitidas por los equipos de elevación de movilidad no restringida) + (la más desfavorable de las siguientes: sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento ó cargas de tráfico terrestre ferroviario).
 - (Cargas transmitidas por los equipos de elevación de movilidad no restringida) + (la más desfavorable de las siguientes: carga transmitida por un equipo auxiliar de transporte horizontal y depósito).
- ◆ Cuando la manipulación de mercancías se realiza mediante sistemas discontinuos por medios rodantes:
 - La más desfavorable de las siguientes: cargas transmitidas por un equipo con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes ó sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento ó cargas de tráfico terrestre ferroviario.
- ◆ Cuando la manipulación de mercancía se realiza mediante sistemas continuos:
 - (Carga transmitida por el sistema continuo) + (la más desfavorable de las siguientes: sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento ó cargas de tráfico terrestre).

Dichas combinaciones se reducirán o simplificarán en aquellas condiciones de trabajo en las que algunas de las cargas son nulas (p.e. en condiciones extremas y excepcionales debidas a la actuación de viento extraordinario, las cargas transmitidas por los equipos de movilidad no restringida y las correspondientes a tráfico viario son nulas).

Para la verificación de modos de fallo “locales” (estructurales o de inestabilidad interna), en aquellas obras de atraque y amarre en las que sea necesario comprobar dichos modos de fallo (particularmente las fijas abiertas, las de pantallas y las flotantes) deberán tomarse en consideración alternativamente las cargas concentradas más desfavorables transmitidas por los equipos de manipulación considerados, así como las debidas a las mercancías estacionadas o almacenadas y al tráfico terrestre. A estos efectos, no se considerará la actuación simultánea de este tipo de cargas cuando correspondan a diferentes equipos o elementos.

4.6.4.2.1.1. Cargas transmitidas por sistemas discontinuos de carga y descarga del buque por elevación ($q_{v,21}$)

4.6.4.2.1.1.1. Cargas transmitidas por equipos fijos y de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación ($q_{v,211}$)

Las cargas transmitidas por los equipos fijos y de movilidad restringida a las obras de atraque y amarre están asociadas fundamentalmente con los siguientes factores:

- ◆ Configuración geométrica del equipo, particularmente en la interfase equipo/obra de atraque (equipo fijo o en el caso de equipos de movilidad restringida: distancia entre carriles o bandas de circulación, espacio entre patas, número de ruedas por pata y separación de las mismas, distancia entre topes, disposición de los sistemas de anclaje,...).
- ◆ Peso propio del equipo, incluyendo el peso de los sistemas o dispositivos de elevación o carga (gancho, cuchara o spreader) y, en su caso, de traslación de la carga (carro o trolley).
- ◆ Capacidad de elevación del equipo en relación con su alcance.
- ◆ Efectos inerciales asociados con el movimiento del equipo y con la elevación de la carga (aceleraciones en los sistemas de elevación y traslación de las cargas, aceleraciones en los movimientos de traslación del equipo, ...).
- ◆ Los efectos de los agentes del medio físico, particularmente el viento, la nieve y el sismo.

Los parámetros que definen a este agente se incluyen en la tabla 4.6.4.5. Para una determinada configuración del equipo y posición de la carga manipulada, en general, este agente se define mediante las cargas puntuales, verticales y horizontales, transversales y longitudinales, y momentos transmitidos directamente a la infraestructura o al cimiento en el caso del equipo fijo o, en el caso de equipos de movilidad restringida, a través de las ruedas que situadas en cada una de las patas permiten la movilidad del equipo, así como por los anclajes y brochados en aquéllos estados de proyecto en los cuales se considere la inmovilización de éste.

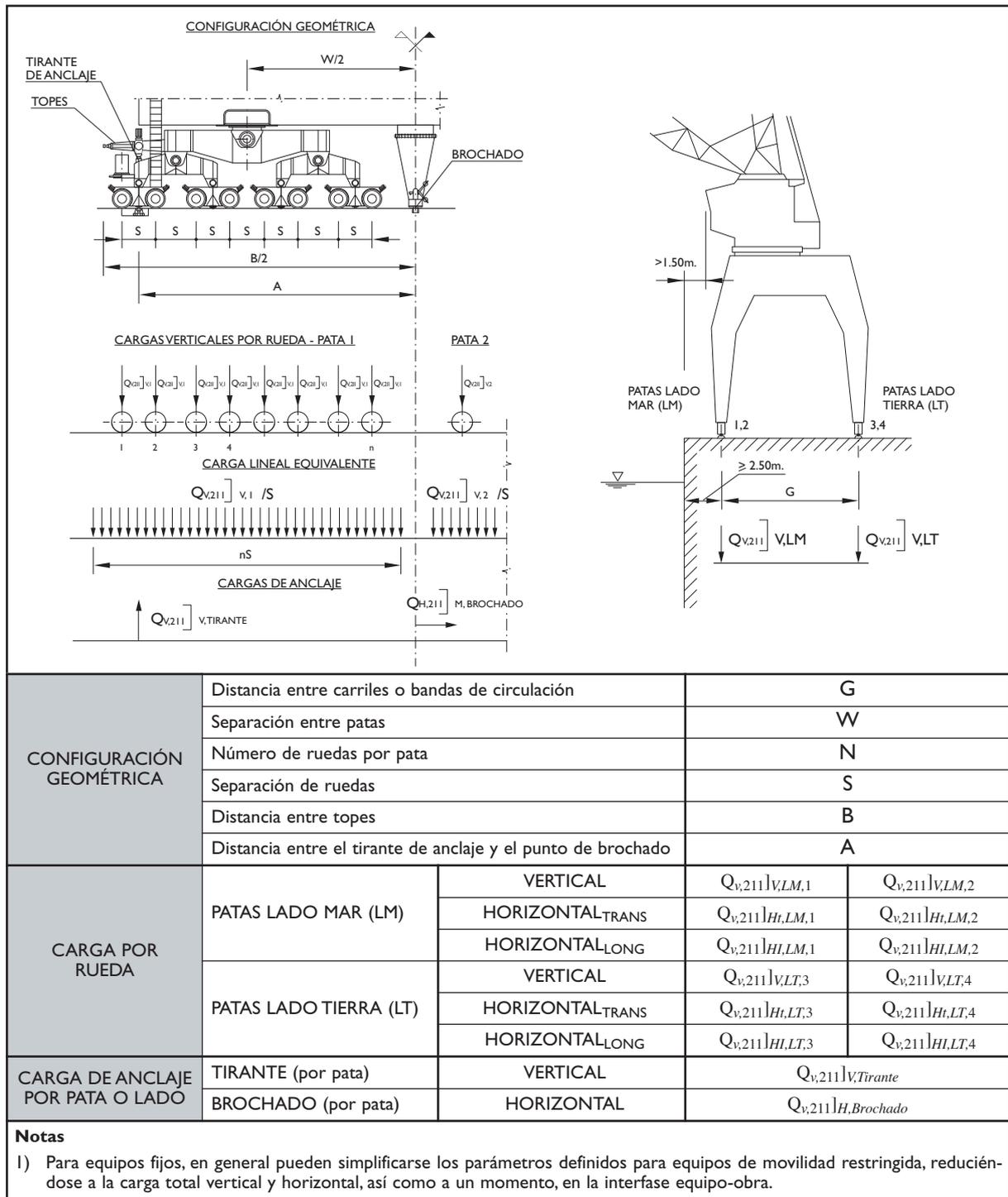
En el caso de los equipos de movilidad restringida, su distribución espacial se considerará libre en su banda de circulación, con las restricciones asociadas a la configuración geométrica de los equipos, limitada únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para los mismos. Por condiciones de explotación de la instalación, así como por exigencias de seguridad en las operaciones de carga-descarga es recomendable que la distancia entre el cantil de la obra de atraque y el eje del carril lado mar sea mayor de 2,50 m ⁽³¹⁾, debiéndose garantizar una distancia mínima entre el cantil y la cabina de operación del equipo mayor de 1,50 m para evitar su posible colisión con el buque, bien atracado o durante la maniobra de atraque con un ángulo excesivo de escora de hasta 5° hacia lado tierra (Ver apartado 3.2.1.7.1 y tabla 4.6.4.5), bien con la proa del mismo en función del ángulo de aproximación asociado con el tipo de atraque y con la maniobra de atraque desarrollada (Ver apartado 4.6.4.4.3.2).

Salvo que las condiciones de explotación definan otra cosa, del lado de la seguridad se considerará que varios equipos de movilidad restringida pueden trabajar simultáneamente o estar estacionados en situación de topes unidos. Para cada estado de proyecto, se adoptará la distribución de cargas que se produce simultáneamente en cada pata, correspondiente a la configuración de equipo, posición de la carga y dirección del viento que, siendo compatibles con dicho estado, produzca los efectos más desfavorables para el modo de fallo analizado.

En el caso de equipos de movilidad restringida, en general para la verificación de modos de fallo “globales” es admisible considerar la carga transmitida por cada pata del equipo como una carga lineal equivalente a la carga transmitida por las ruedas, obtenida por división de la carga transmitida por cada una de ellas por la separación entre ejes de ruedas. Dicha carga lineal se extenderá en una distancia igual a la existente entre ejes de ruedas extremas, aumentada en una separación entre ruedas. Sin perjuicio de mantener la diferenciación entre las cargas de cada pata para una mejor optimización de la obra, simplificada para facilitar los cálculos, del lado de la seguridad podrá considerarse en todas las patas de la grúa situadas en cada uno de los lados una misma carga vertical, horizontal transversal y horizontal longitudinal, considerando los valores compatibles asociados al valor mayor de cada una de estas componentes, obtenidos considerando todas las configuraciones del equipo, carga y viento compatibles con el estado de proyecto considerado.

(31) Esta recomendación tiene un carácter general, sin perjuicio de que en algunos casos puede generar dificultades en la cimentación del equipo que no haga conveniente dicha disposición. Por ejemplo en obras de atraque de pantallas, con el objeto de poder apoyar las patas del equipo lado mar sobre la pantalla, pueden admitirse excepcionalmente distancias menores entre el cantil y la vía lado mar, pero nunca menores de 0,80 m. Por otra parte, salvo que las condiciones de explotación establecidas para la instalación de atraque lo exijan específicamente (p.e. separación de flujos de vehículos automáticos y manuales) no es conveniente aumentar demasiado esta distancia ya que encarece el equipo de manipulación para conseguir el mismo alcance efectivo.

Tabla 4.6.4.5. Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación



Las cargas transmitidas por los equipos fijos y de movilidad restringida se obtendrán a partir de la combinación de las acciones simultáneas y compatibles que en cada estado de proyecto representativo de los ciclos de sollicitación asociados a la normal explotación de la instalación de atraque (condiciones de trabajo operativas), a la inoperatividad de la misma (condiciones de trabajo extremas) o a la presentación de un agente extraordinario o insólito (condiciones de trabajo excepcionales) actúan sobre el equipo, tomando en con-

sideración las diferentes configuraciones que puede adoptar el equipo, las diferentes posiciones de la carga manipulada y, en su caso, la disposición o no de sistemas de anclaje, así como la dirección del viento en dicho estado. Para ello, el fabricante del equipo deberá suministrar las cargas verticales y horizontales transmitidas por cada agente actuando aisladamente en cada una de las configuraciones del equipo, posiciones de la carga y sistemas de anclaje que se consideren significativas a estos efectos: posición del brazo (lateral centrada perpendicular a los carriles, lateral centrada paralela a los carriles o brazo en esquina, tanto lado mar como lado tierra) o de la pluma (bajada o elevada) en el caso de las grúas para contenedores y de la carga (máxima capacidad de elevación con el máximo alcance en cada una de las posiciones diferenciadas del brazo o pluma). Para ello es recomendable solicitar estos datos al fabricante de acuerdo con el formato y requerimientos señalados en las tablas 4.6.4.6 y 4.6.4.7 para el caso de grúas pórtico y grúas de contenedores respectivamente, de forma que sea posible definir los valores representativos y, en su caso, las funciones de distribución asociados con dichas cargas.

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las cargas transmitidas por los equipos de manipulación fijos o de movilidad restringida se definirán:

a) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas

a₁) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos

- ◆ En condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, las cargas de operación transmitidas por los equipos fijos o de movilidad restringida podrán definirse a través de valores nominales establecidos directamente por el Promotor cuando no esté en condiciones de explicitar en la fase de proyecto los equipos concretos de manipulación o de valores representativos basados en los límites operativos establecidos por criterios de explotación o bien por criterios ambientales, climáticos, legales o de seguridad existentes para la operatividad de los equipos previstos, tomando en consideración los buques de la flota esperable en el atraque.

Tabla 4.6.4.6. Formato para la descomposición de las cargas transmitidas por grúas pórtico de movilidad restringida en función de los diferentes agentes actuantes, a suministrar por el fabricante

AGENTE	POSICIÓN DEL BRAZO	CARGA POR RUEDA								CARGAS EN ANCLAJES	
		PATAS EN CARRIL 1				PATAS EN CARRIL 2				Tirante (por pata)	Brochado (por lado)
		Vertical		Horizontal		Vertical		Horizontal			
		Pata 1	Pata 2	Pata 1	Pata 2	Pata 3	Pata 4	Pata 3	Pata 4	Vertical	Horizontal
A. Peso propio del equipo	Centrado perpendicular a los carriles									—	—
	Centrado paralelo a los carriles									—	—
	En esquina									—	—
	En posición de estacionamiento									—	—
C. Capacidad de elevación del equipo con máximo alcance	Centrado perpendicular a los carriles									—	—
	Centrado paralelo a los carriles									—	—
	En esquina									—	—

Formato para la descomposición de las cargas transmitidas por grúas portico de movilidad restringida en función de los diferentes agentes actuantes, a suministrar por el fabricante (continuación)

AGENTE	POSICIÓN DEL BRAZO	CARGA POR RUEDA								CARGAS EN ANCLAJES	
		PATAS EN CARRIL 1				PATAS EN CARRIL 2				Tirante (por pata)	Brochado (por lado)
		Vertical		Horizontal		Vertical		Horizontal			
		Pata 1	Pata 2	Pata 1	Pata 2	Pata 3	Pata 4	Pata 3	Pata 4	Vertical	Horizontal
D. Cargas inerciales	Centrado perpendicular a los carriles									—	—
	Centrado paralelo a los carriles									—	—
	En esquina									—	—
E. Viento límite de operatividad en dirección transversal ¹⁾	Centrado perpendicular a los carriles									—	—
E. Viento límite de operatividad en dirección longitudinal ¹⁾	Centrado paralelo a los carriles									—	—
E. Viento límite de operatividad en dirección 45° ¹⁾	En esquina									—	—
F. Viento en condiciones extremas en dirección transversal ¹⁾	Posición de estacionamiento									—	—
F. Viento en condiciones extremas en dirección longitudinal ¹⁾	Posición de estacionamiento									—	—
F. Viento en condiciones extremas en dirección 45° ¹⁾	Posición de estacionamiento									—	—
G. Peso propio equipo + viento en condiciones excepcionales en dirección transversal ¹⁾	Posición de estacionamiento			—	—			—	—		
G. Peso propio equipo + viento en condiciones excepcionales en dirección longitudinal ¹⁾	Posición de estacionamiento			—	—			—	—		
Notas											
<ul style="list-style-type: none"> – Condiciones normales de Operación (equipo en servicio): $[A+C+D+E]$ (para cada una de las posiciones del brazo) – Condiciones Extremas (equipo fuera de servicio): A (en posición de estacionamiento) + F. – Condiciones Excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario (equipo fuera de servicio con dispositivos de anclaje activados): G. <p>¹⁾ Las componentes debidas al viento se obtendrán para una velocidad V_0. Conocidas las componentes debidas al viento asociadas con esta velocidad del viento pueden obtenerse las asociadas con cualquier otra velocidad V_1 multiplicándolas por la relación $(V_1/V_0)^2$.</p>											

En el caso de que el Promotor fije directamente el valor nominal límite de dichas cargas deberá asociarlo a una velocidad y dirección del viento para poder combinar estas cargas con las producidas por los otros agentes de actuación simultánea y, también, para poder asociar a las mismas una probabilidad de presentación en el emplazamiento necesaria para la verificación del nivel de operatividad de la instalación correspondiente al modo de fallo de parada operativa “realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado”. Cuando en una fase posterior se conozcan con detalle los equipos o éstos se adquieran por el explotador de la instalación de atraque deberá com-

Tabla 4.6.4.7. Formato para la descomposición de las cargas transmitidas por equipos de manipulación de contenedores de movilidad restringida en función de los diferentes agentes actuantes, a suministrar por el fabricante

AGENTE	POSICIÓN DE LA PLUMA	POSICIÓN DE LA CARGA MANIPULADA	CARGA POR RUEDA								CARGAS EN ANCLAJES		
			PATAS LADO MAR (LM)				PATAS LADO TIERRA (LT)				Tirante (por pata)	Brochado (por lado)	
			Vertical		Horizontal		Vertical		Horizontal				
			Pata 1	Pata 2	Pata 1	Pata 2	Pata 3	Pata 4	Pata 3	Pata 4	Vertical	Horizontal	
A. Peso propio del equipo	Pluma bajada											—	—
	Pluma elevada											—	—
B. Peso propio sistemas elevación-traslación de la carga		Máximo alcance LM										—	—
		Máximo alcance LT										—	—
		Posición estacionamiento										—	—
C. Capacidad de elevación del equipo		Máximo alcance LM										—	—
		Máximo alcance LT										—	—
D. Cargas Inerciales		Máximo alcance LM										—	—
		Máximo alcance LT										—	—
E. Viento límite de operatividad en dirección transversal ¹⁾	Pluma bajada											—	—
E. Viento límite de operatividad en dirección longitudinal ¹⁾	Pluma bajada											—	—
E. Viento límite de operatividad en dirección 45° ¹⁾	Pluma bajada											—	—
F. Viento en condiciones extremas en dirección transversal ($T_R = 50$ años) ¹⁾	Pluma elevada											—	—
F. Viento en condiciones extremas en dirección longitudinal ¹⁾	Pluma elevada											—	—
F. Viento en condiciones extremas en dirección 45° ¹⁾	Pluma elevada											—	—
G. Peso propio equipo y sistemas de elevación + viento en condiciones excepcionales en dirección transversal ¹⁾	Pluma elevada				—	—				—	—		
G. Peso propio equipo y sistemas de elevación + viento en condiciones excepcionales en dirección longitudinal ¹⁾	Pluma elevada				—	—				—	—		

Notas

- Condiciones normales de Operación (equipo en servicio): A (pluma bajada) + B (máximo alcance) + C + D + E .
- Condiciones Extremas (equipo fuera de servicio): A (pluma elevada) + B (posición estacionamiento) + F .
- Condiciones Excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario (equipo fuera de servicio con dispositivos de anclaje activados): G .

¹⁾ Las componentes debidas al viento se obtendrán para una velocidad V_0 . Conocidas las componentes debidas al viento asociadas con esta velocidad del viento pueden obtenerse las asociadas con cualquier otra velocidad V_1 multiplicándolas por la relación $(V_1/V_0)^2$.

probarse que el valor representativo de las cargas transmitidas por los mismos en las condiciones de explotación que se establezcan, obtenidas de acuerdo con la metodología definida en este apartado, no supera el valor nominal establecido. En caso contrario, deberán definirse nuevas condiciones límites de operación más restrictivas para dichos equipos con el objeto de garantizar esta condición. Lo mismo deberá realizarse si previamente a la entrada en servicio de la instalación de atraque o durante una fase de rehabilitación o readaptación de la misma a nuevas necesidades de la demanda se modifican los equipos previstos en la fase de proyecto.

Cuando estén definidos en la fase de proyecto los equipos de manipulación, el valor representativo de las cargas transmitidas por los mismos se obtendrá como:

El valor más desfavorable para el modo de fallo analizado de las cargas que pueden ser transmitidas por los equipos de proyecto en condiciones de servicio correspondientes a carga y descarga de cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, con elevación de carga máxima con máximo alcance, para las condiciones climáticas establecidas como límite para poder realizar dichas operaciones. Para el cálculo de estos valores, el valor representativo de la velocidad y dirección del viento deberá ser el correspondiente al estado de proyecto considerado, compatible con los valores representativos del resto de acciones climáticas que definen el estado meteorológico en dichas condiciones (Ver tabla 4.6.2.2), e idéntico al adoptado para la definición de los otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea que dependen del viento (p.e. cargas de amarre).

- Cuando el viento se adopte como agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, bien por la paralización de las operaciones de la grúa por condiciones de seguridad bien por causar movimientos en el buque amarrado incompatibles con la realización de las citadas operaciones, se adoptará para la definición de las cargas el menor valor de la velocidad del viento en cada dirección de entre los que limiten estas operaciones. La metodología para definición de las condiciones límite de operatividad correspondientes a la paralización de las operaciones de carga y descarga por incompatibilidad de los movimientos del buque atracado con dichas operaciones, se incluye en el apartado 4.6.4.4.7.1.3. Cargas de amarre, epígrafes a_4 y b_2 , considerando, a falta de criterios o estudios específicos, como movimientos admisibles del buque los señalados en la tabla 4.6.4.22. A su vez, en ausencia de información específica del Promotor o del Fabricante de los equipos de manipulación, se adoptará como viento límite para la realización de estas operaciones por razones de seguridad de los equipos y de la operativa aquél cuya velocidad media en el intervalo (ráfaga) de 3 s a 10 m de altura sea 24 m/s (\cong 86 km/h).
- Para la definición de estados límites en esta condición de trabajo operativa también deberán tomarse en consideración aquéllos casos en los que otro agente climático distinto del viento u operativo se adopte como agente predominante para alguna de las causas de paralización de las operaciones de carga y descarga (p.e. el oleaje o los efectos hidrodinámicos inducidos por buques en tránsito que producen la agitación que impide las operaciones de carga y descarga por producir movimientos del buque no compatibles con la realización de estas operaciones o los niveles de agua que impiden las operaciones de los equipos al poderse producir colisiones entre éstos y los buques por altura de elevación insuficiente sobre el nivel de coronación del atraque o dar lugar a rebases sobre la coronación de la obra (Ver apartado 3.2.2.1. Niveles de coronación). En estos casos se adoptará para la definición de las cargas transmitidas por los equipos de manipulación fijos y de movilidad restringida la velocidad del viento simultáneo compatible con el valor límite de operatividad de dicho agente predominante en el estado meteorológico definido por el mismo (Ver apartado 4.6.2.1. Agentes climáticos). Estos estados límites deberán analizarse por si pudieran ser más desfavorables para el modo de fallo analizado considerando todas las cargas actuantes en estas condiciones de trabajo, aunque sean más limitativos en lo que respecta a la velocidad del viento y, por tanto, a las cargas transmitidas por los equipos. A los efectos de la definición de las cargas transmitidas por equipos fijos y de movilidad restringida, únicamente se tomarán en consideración estas últimas situaciones de proyecto si la velocidad de viento compatible asociado a las mismas no supera el valor umbral más limitativo establecido en aquellos casos en que se

considera que el viento es el agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado.

A falta de estudios más precisos entre movimientos del buque atracado y agente climático actuante de acuerdo, por ejemplo, con la metodología definida en el apartado 4.6.4.4.7.1.3. de cargas de amarre, epígrafes a_4 y b_2 , considerando, a falta de criterios o estudios específicos, como movimientos admisibles del buque los señalados en la tabla 4.6.4.22, pueden adoptarse como valores de los agentes climáticos predominantes que definen los diferentes estados límites correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga por elevación del buque atracado los recogidos en la tabla 3.2.1.3. Por otra parte, en general los niveles de agua o, en su caso, el oleaje no suelen considerarse que den lugar a causas de paralización de las operaciones de carga y descarga por elevación por rebases de las aguas o por insuficiencia de las alturas de elevación total o sobre coronación de los equipos al recomendarse definir los niveles de coronación de las obras de atraque de forma que estos modos de parada operativa nominalmente no se produzcan (Ver apartado 3.2.2.1. Niveles de coronación).

- ◆ *En otras condiciones de trabajo operativas correspondientes a los estados límites de operaciones de atraque y de permanencia de buques en el atraque sin realizar operaciones de carga y descarga se considerará que el equipo está fuera de servicio en cualquier ubicación de la obra de atraque, con una configuración replegada, en el estado climático representativo de las condiciones operativas consideradas. En esta situación, las cargas transmitidas por los equipos se obtendrán a partir de la combinación del peso propio del equipo con los efectos de los agentes del medio físico, particularmente el viento, de igual forma que lo señalado para condiciones de trabajo extremas, adaptando los valores correspondientes a esta situación al estado meteorológico de proyecto considerado para cada una de las citadas condiciones operativas. Por tanto, para la definición de los valores representativos de las cargas en estas situaciones será de aplicación lo dispuesto para condiciones de trabajo extremas, considerando la velocidad del viento correspondientes al estado meteorológico operativo considerado.*
- ◆ *En condiciones de trabajo extremas se considera que el equipo está en situación fuera de servicio en cualquier ubicación de la obra de atraque, con una configuración replegada, en el estado climático representativo de condiciones extremas (Ver apartado 4.6.2.1). En esta situación las cargas transmitidas por los equipos se obtendrán a partir de la combinación del peso propio del equipo con los efectos de los agentes del medio físico, particularmente el viento.*

Cuando no se esté en condiciones de explicitar en la fase de proyecto los equipos concretos de manipulación, el Promotor podrá fijar los valores nominales de las cargas transmitidas por los mismos en configuración replegada para condiciones extremas, separando la parte debida al peso propio de la debida a una determinada velocidad y dirección del viento con el objeto de poder adaptar dichos valores al estado meteorológico considerado en proyecto para condiciones extremas y poder combinar estas cargas con las producidas por otros agentes de actuación simultánea en dicho estado. En este caso, deberá comprobarse, cuando en una fase posterior se conozcan detalladamente los equipos o éstos se adquieran por el explotador de la instalación, que el valor representativo de las cargas transmitidas por los mismos en las condiciones extremas de proyecto, obtenidas con la metodología definida en este apartado, no superan el valor nominal establecido adaptado a dicho estado. Lo mismo debe realizarse si previamente a la entrada en servicio de la instalación o durante la fase de rehabilitación o readaptación de la instalación de atraque a nuevas necesidades de la demanda se modifican los equipos previstos en la fase de proyecto.

Cuando estén definidos en la fase de proyecto los equipos de manipulación, el valor representativo de las cargas transmitidas por los mismos se definirá como:

El valor más desfavorable para el modo de fallo analizado de las cargas que pueden ser transmitidas por el equipo fuera de servicio, actuando la velocidad del viento en el emplazamiento correspondiente al periodo de retorno considerado para la definición de los valores característicos o de combinación asociados con el agente climático viento en el estado meteorológico de proyecto en condiciones extremas en función, respectivamente, de que éste sea o no el agente climático predominante en

el modo de fallo analizado y, en este último caso, de que sea o no sea independiente del predominante (Ver apartado 4.6.2.1).

La dirección adoptada será la compatible con el resto de las acciones climáticas que definen el estado meteorológico de proyecto en condiciones extremas y la misma que la adoptada para el cálculo de los otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en dicho estado que dependan del agente viento. Para probabilidades de ocurrencia del modo de fallo en estas condiciones de trabajo menores del 5%, dichos valores son los correspondientes a un periodo de retorno de 50 años si el viento es la acción climática predominante del modo de fallo considerado en estas condiciones de trabajo y, por tanto, la que define el estado meteorológico de proyecto considerado en condiciones extremas o los correspondientes a un periodo de 5 años, con las consideraciones señaladas para variables direccionales, si el viento no es la acción climática predominante y es independiente de la predominante (Ver Tablas 4.6.2.2 y 4.6.4.8, así como el apartado 4.1.1.1.1 a).

A partir de una determinada velocidad del viento el equipo no es estable por si mismo al alcanzarse reacciones negativas en las patas de barlovento, debiendo activarse los dispositivos de anclaje (tirantes y brochado). En general esta velocidad está establecida alrededor de una velocidad de ráfaga 3 s a 10 m de altura de 40-42 m/s (144-150 km/h), pudiendo ser menor para las grandes grúas super-post Panamax. A partir de esta velocidad el equipo puede considerarse que los equipos se trasladan a su posición de estacionamiento de tormenta establecida por los criterios de explotación definidos por el Promotor, con activación de los mecanismos de anclaje. Si esto está previsto deberá limitarse la verificación de las condiciones extremas considerando cualquier ubicación del equipo en la obra de atraque para la velocidad límite del equipo sin activar los dispositivos de anclaje, siempre que dicha velocidad sea mayor que el valor característico o de combinación de la velocidad del viento en el estado de proyecto considerado en condiciones extremas.

- ◆ *En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación del agente climático viento de carácter extraordinario se considera que el equipo está en situación fuera de servicio, con una configuración replegada, en el estado climático representativo de estas condiciones excepcionales (Ver apartado 4.6.2.1). En general en este estado se considera que el equipo tiene activados sus dispositivos de anclaje y se encuentra ubicado en su posición de estacionamiento de tormenta establecida por los criterios de explotación definidos por el Promotor. En esta situación las cargas transmitidas por los equipos se obtendrán a partir de la combinación del peso propio del equipo con los efectos del viento.*

Cuando no esté en condiciones de explicitar en la fase de proyecto los equipos concretos de manipulación, el Promotor podrá fijar los valores nominales de las cargas transmitidas por los mismos en la citada configuración de estacionamiento de tormenta, separando la parte debida al peso propio de la debida a una determinada velocidad y dirección del viento con el objeto de poder adaptar dichos valores al estado meteorológico considerado en proyecto para estas condiciones excepcionales y poder combinar estas cargas con las producidas por otros agentes de actuación simultánea en dicho estado. Al igual que lo señalado para condiciones extremas, deberá comprobarse, cuando en una fase posterior se conozcan detalladamente los equipos, que el valor representativo de las cargas transmitidas por los mismos en las condiciones excepcionales de proyecto no supera el valor nominal establecido adaptado a dicho estado.

Cuando estén definidos en la fase de proyecto los equipos de manipulación, el valor representativo de las cargas transmitidas por los mismos se definirá como:

El valor más desfavorable para el modo de fallo analizado de las cargas que pueden ser transmitidas por el equipo fuera de servicio (tanto en las ruedas como en los dispositivos de anclaje), actuando la velocidad del viento en el emplazamiento correspondiente al periodo de retorno considerado para la definición de los valores característicos asociados con el agente climático viento en condiciones excepcionales (Ver apartado 4.6.2.1). La dirección considerada será compatible con el resto de acciones climáticas que definen el estado meteorológico en estas condiciones y será la misma adoptada para la definición de los otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en

dicho estado que dependan del agente viento. Para probabilidades de ocurrencia del modo de fallo en dichas condiciones de trabajo menores del 5%, dichos valores son los correspondientes a un periodo de retorno de 500 años (Ver apartado 4.1.1.1.1.b₁).

La dirección adoptada será la compatible con el resto de las acciones climáticas que definen el estado meteorológico de proyecto en estas condiciones excepcionales y la misma que la adoptada para el cálculo de los otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en dicho estado que dependan del agente viento.

- ◆ *En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea sismo o viento extraordinario se considera que el equipo puede estar tanto en servicio como fuera de servicio cuando se produce un estado asociado a la presentación de dicha acción accidental, sin perjuicio de que la actuación de la acción accidental pueda estar asociada específicamente a una determinada situación del equipo (p.e. cuando actúa el agente impacto accidental de buques durante las operaciones de atraque debe considerarse que el equipo de manipulación está fuera de servicio).*

Cuando estén definidos en la fase de proyecto los equipos de manipulación, en esta situación el valor representativo de las cargas será su valor frecuente o su valor cuasi-permanente, en función de que el viento sea o no sea la acción climática predominante en el estado meteorológico considerado en estas condiciones. Estos valores se definirán como (Ver apartado 4.1.1.1.1.b₂):

- Se adoptará como valor frecuente el más desfavorable para el modo de fallo analizado de las cargas que pueden ser transmitidas por el equipo tanto en servicio como fuera de servicio, actuando el valor frecuente de la velocidad del viento (Ver tabla 4.6.2.2) y, cuando se considere el equipo en servicio, el valor cuasi-permanente de cargas en elevación y efectos inerciales asociados.
- Se adoptará como valor cuasi-permanente el más desfavorable para el modo de fallo analizado de las cargas que pueden ser transmitidas tanto por el equipo en servicio como fuera de servicio actuando el valor cuasi-permanente de los agentes variables que actúan sobre el equipo (velocidad del viento y, cuando se considere el equipo en servicio, cargas de elevación y efectos inerciales asociados). No obstante, cuando el viento sea dependiente del agente climático predominante en el estado meteorológico correspondiente a estas condiciones, se adoptará el valor de la velocidad del viento compatible con el valor representativo adoptado para el agente climático predominante (ver tabla 4.6.2.2).

No obstante lo anterior, en aquéllos casos en los que la actuación de la acción accidental este asociada a un determinado estado meteorológico y correlacionada con el viento ⁽³²⁾, el valor representativo de las cargas correspondiente a los equipos de manipulación se obtendrá considerando la velocidad del viento correspondiente a dicho estado.

La dirección adoptada para la velocidad del viento será la compatible con el resto de los agentes climáticos que definen el estado meteorológico de proyecto en estas condiciones excepcionales y la misma que la adoptada para el cálculo de los otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en dicho estado que dependan del agente viento.

Cuando en la fase de proyecto no se hayan explicitado los equipos, habiéndose definido valores nominales para condiciones extremas separando la componente del peso propio de la debida a la actuación del viento, de acuerdo con lo recomendado en esta ROM, simplifícadamente en estas con-

(32) Por ejemplo, la acción accidental "impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque" está asociada al estado meteorológico límite en el que se pueden realizar las maniobras de atraque (estado límite de operatividad de las operaciones de atraque) en condiciones normales (Ver apartado 4.6.4.4.4). Por tanto, para la obtención de las cargas correspondientes a los equipos de manipulación de actuación simultánea con dicha carga accidental se considerará la velocidad del viento correspondiente al estado límite de operatividad de las operaciones de atraque actuando sobre el equipo fuera de servicio.

diciones excepcionales cuando se considere el equipo fuera de servicio podrá adoptarse un valor reducido de dicho valor nominal, resultado de adaptar la componente del viento al valor representativo de la velocidad del viento correspondiente al estado meteorológico (frecuente, cuasi-permanente o compatible con el agente climático predominante) en estas condiciones excepcionales. (Para definir el factor que permite la adaptación de las componentes de las cargas debidas al viento, ver Nota 1 de las tablas 4.6.4.6. y 4.6.4.7). Para el equipo en servicio, simplificadaamente podrán adoptarse valores reducidos de los valores nominales establecidos para condiciones normales de operación que, para el caso del valor frecuente, serán iguales a 0,95 los correspondientes a dichos valores nominales y para el caso del valor cuasi-permanente a 0,90 de dichos valores.

- ◆ *En condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica se considera que el equipo puede estar tanto en servicio como en situación de fuera de servicio cuando se produce un estado sísmico en el emplazamiento (Ver apartado 4.6.2.4). En esta situación, en general a los efectos del proyecto de la obra de atraque y amarre no se considerarán las acciones horizontales debidas al sismo asociadas a la masa de la grúa, sin perjuicio de que la grúa como estructura deba diseñarse para resistir el efecto de dichas acciones sin daños (en condiciones extremas) o con daños (descarrilamiento, etc.) asumibles (en condiciones excepcionales).*

Cuando estén definidos en la fase de proyecto los equipos de manipulación, en esta situación el valor representativo de las cargas será su valor cuasi-permanente, definido en el epígrafe de condiciones excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario.

Cuando en la fase de proyecto no se hayan explicitado los equipos, habiéndose definido valores nominales para condiciones de trabajo operativas y extremas, se procederá de igual forma que lo señalado en el epígrafe de condiciones excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario, adaptando cuando se considere el equipo fuera de servicio la componente del viento al valor cuasi-permanente de la velocidad del viento o al compatible con el adoptado para el agente climático predominante si no es independiente de éste.

Los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos fijos y de movilidad restringida cuando estén definidos en la fase de proyecto se resumen en la tabla 4.6.4.8.

En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados por los fabricantes para los equipos de manipulación previstos por el Promotor en función del tipo de mercancía y del tamaño y características de la flota previsible de buques en el atraque, podrán adoptarse como órdenes de magnitud indicativos de los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos de manipulación de movilidad restringida actualmente considerados como estándar o convencionales los consignados en la tabla 4.6.4.9 para grúas pórtico y en la 4.6.4.10 para grúas para contenedores.

En el caso particular de las grúas para contenedores hay actualmente en el mercado grúas pórtico con características diferentes a las estándar o convencionales cada vez más utilizadas con el objeto de reducir la altura de las mismas en posición de estacionamiento, de permitir una mayor automatización de las operaciones y de conseguir mayores niveles de productividad. De estas grúas no convencionales es más difícil sistematizar las cargas que transmiten.

La necesidad de grúas pórtico de contenedores de menor altura en posición de estacionamiento puede ser debida a exigencias sociales y medioambientales de reducción de su impacto visual, así como a su posicionamiento en la ruta de aproximación de aviones cuando la terminal está cercana a un aeropuerto. La altura de las grúas pórtico de contenedores convencionales en posición de estacionamiento, que puede alcanzar una altura total sobre carriles del orden de 110 metros, puede reducirse hasta 30% mediante grúas de pluma articulada o hasta un 50% con grúas de perfil bajo. La posición de estacionamiento de estas grúas se alcanza mediante la completa traslación horizontal de la pluma hacia el lado de tierra (Ver figura 4.6.4.1). En general, estas grúas pórtico de contenedores no convencionales pueden mantener la misma distancia entre carriles que las grúas convencionales, aunque son grúas mucho más pesadas, que transmiten cargas por rueda más elevadas, y más caras.

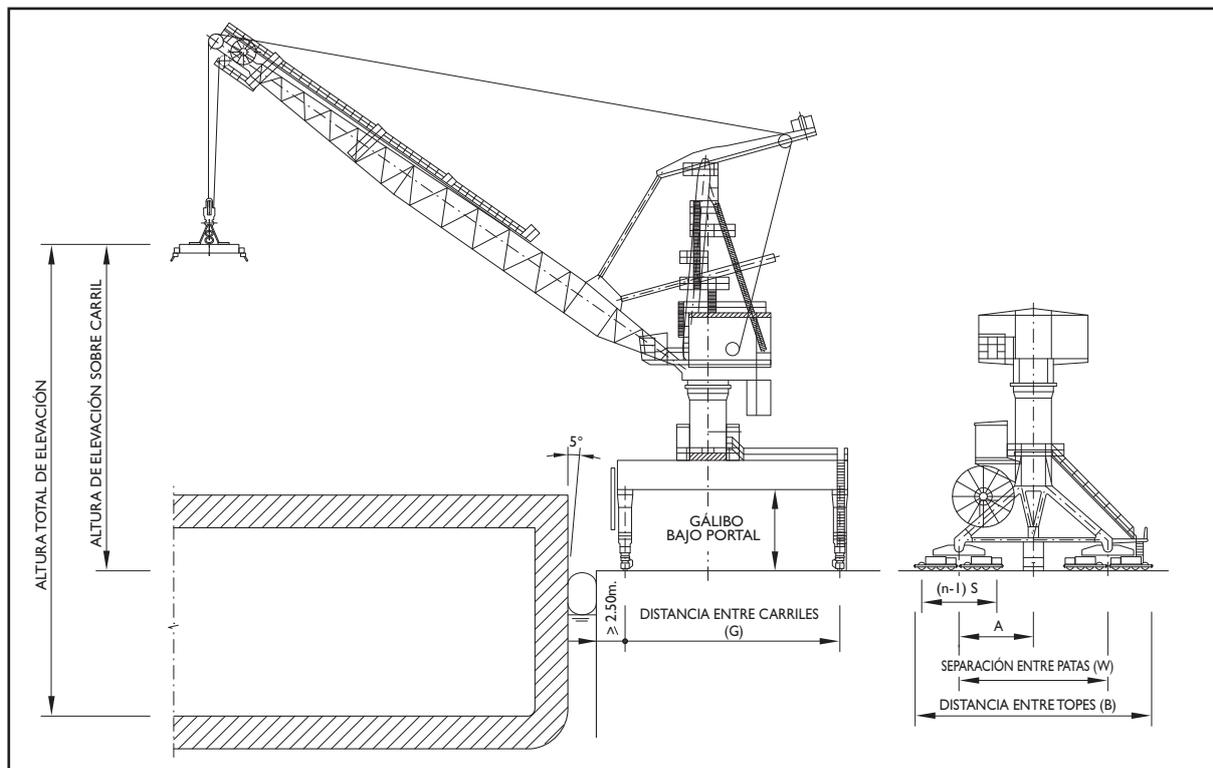
Tabla 4.6.4.8. Valores representativos de las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías fijos y de movilidad restringida (Para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo)

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO ($q_{v,211k}$)	VALOR DE COMBINACIÓN ($\Psi_0 q_{v,211k}$)	VALOR FRECUENTE ($\Psi_1 q_{v,211k}$)	VALOR CUASI-PERMANENTE ($\Psi_2 q_{v,211k}$)
Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones normales de carga y descarga con buque atracado (CT1,1) ¹⁾	Límites operativos establecidos para las operaciones de carga y descarga con buque atracado (carga más desfavorable transmitida por equipo en condiciones de servicio = [valores nominales de (peso propio + elevación de carga + efectos inerciales) + velocidad del viento límite de operatividad para realizar estas operaciones. En general $V_{v,3s} = 24 \text{ m/s}$ si el viento es el agente predominante considerado para la definición del estado límite ²⁾]			
Condiciones de Trabajo Extremas ³⁾ (CT2)	Cargas más desfavorables transmitida por el equipo en situación fuera de servicio [valor nominal del peso propio + velocidad del viento correspondiente a:			
	Periodo de retorno (T_R) de 50 años, obtenido de la función de distribución de extremos ⁴⁾	Periodo de retorno (T_R) de 5 años, obtenido de la función de distribución de extremos, con las consideraciones señaladas para variables direccionales	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario (CT3,1)	Cargas más desfavorables transmitida por el equipo en situación fuera de servicio = valor nominal del peso propio + velocidad del viento correspondiente a:			
	Periodo de retorno (T_R) de 500 años, obtenido de la función de distribución de extremos	—	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea sismo o viento extraordinario ⁵⁾ (CT3,2)	Cargas más desfavorables transmitidas por el equipo tanto en situación de servicio como fuera de servicio = valor nominal del peso propio + valor cuasi-permanente de las cargas de elevación y efectos inerciales asociados (0,8 valores nominales) cuando se considere situación de servicio+ velocidad del viento correspondiente a:			
	—	—	Probabilidad absoluta de no excedencia del 85% tomada del régimen medio	Probabilidad absoluta de no excedencia del 50% tomada del régimen medio
Condiciones de Trabajo Extremas o Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	Cargas más desfavorables transmitidas por el equipo tanto en situación servicio como fuera de servicio = valor nominal del peso propio + valor cuasi-permanente de las cargas de elevación y efectos inerciales asociados (0,8 valores nominales) cuando se considere situación servicio + velocidad del viento correspondiente a:			
	—	—	—	Probabilidad absoluta de no excedencia del 50% tomada del régimen medio ⁶⁾
Notas				
<p>1) En otras condiciones normales de operación correspondientes a los estados límites de operaciones de atraque y de permanencia de buques en el atraque sin realizar operaciones de carga y descarga se considerará, cuando corresponda, la actuación simultánea de cargas transmitidas por equipos de manipulación fijos y de movilidad restringida. En estos casos se considerará que el equipo está fuera de servicio, siendo de aplicación los valores representativos definidos para condiciones extremas, adoptando como velocidad del viento la correspondiente al estado meteorológico de proyecto en las condiciones operativas consideradas.</p> <p>2) Si el agente predominante considerado para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga es otro agente climático u operativo (p.e. el oleaje que produce la agitación máxima compatible con las operaciones de carga y descarga) se adoptará la velocidad del viento compatible con el valor umbral de operatividad considerado para dicho agente (ver apartado 4.6.2.1).</p> <p>3) Se adoptará como valor representativo el valor característico cuando el viento se considere el agente climático predominante para la definición del estado límite en condiciones extremas. En el caso de que el viento no se considere el agente climático predominante se adoptará el valor de combinación, salvo que el viento sea dependiente del agente climático predominante en cuyo caso se considerará el valor compatible con el adoptado para dicho agente (Ver tabla 4.6.2.2)</p> <p>4) Si el viento es el agente climático predominante considerado para la definición del estado límite en condiciones extremas, para probabilidades de fallo mayores del 5%, el valor característico en condiciones extremas será el obtenido considerando una velocidad del viento cuya probabilidad de excedencia en la fase de proyecto analizada sea igual a la probabilidad de fallo considerada. Si el viento no es el agente climático predominante, ver tabla 4.6.2.2.</p>				

Valores representativos de las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías fijos y de movilidad restringida (Para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo) (continuación)

- 5) Se adoptará como valor representativo el valor frecuente cuando el viento sea el agente climático predominante para el modo de fallo analizado. En el caso de que el viento no fuera el agente climático predominante se adoptará el valor cuasi-permanente, salvo que el viento sea dependiente del agente climático predominante en cuyo caso se considerará para el viento el valor compatible con el adoptado para dicho agente. (Ver tabla 4.6.2.2). En aquellos casos en los que la acción accidental esté asociada a un determinado estado meteorológico y correlacionada con el viento se considerará la velocidad del viento correspondiente a dicho estado.
- 6) En el caso de que el viento no sea el agente climático predominante y sea dependiente de este último se considerará para el viento el valor compatible con el adoptado para el predominante (Ver tabla 4.6.2.2).
- 7) El proyectista evaluará la incertidumbre estadística asociada a los datos disponibles con los que se ha estimado las funciones de distribución de la velocidad del viento. Salvo justificación detallada, para la obtención de los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos de manipulación se tomarán los valores superiores del intervalo de confianza del 90%.

Tabla 4.6.4.9. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas pórtico estándar o convencionales sobre carriles ⁷⁾



TIPO DE GRÚA PÓRTICO					
Capacidad de elevación bajo gancho (kN) con máximo alcande (m)	60/25	120/25	160/30	300/35	500/40
Tamaño buque máximo de proyecto ¹⁾	Feeder			Panamax	PostPanamax
Tonelaje (TPM)	< 2.000	2.000-8.000	8.000-15.000	15.000-50.000	> 50.000
Manga del buque (m)	< 14	14-22	22-25	25-32,50	> 32,5
CARACTERÍSTICAS GRÚA					
Gálibo bajo portal (m)	4,0-5,0	4,0-6,0	5,0-7,0	5,0-8,0	5,0-8,0
Máx. altura elevación sobre carril (m)	28	28	30	32	36
Máx. altura total de elevación (m)	43	43	45	47	51
Peso (kN)	850-950	1.800-2.000	2.500-2.800	3.000-4.500	5.000-6.500

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas pórtico estándar o convencionales sobre carriles ⁷⁾ (continuación)

CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA							
Distancia (G) entre carriles (m)		6,00	10,0-12,0	10,0-12,0	10,0-15,0	10,0-15,0	
Separación (W) entre patas (m)		6,00	9,0-10,0	9,0-10,0	9,0-10,0	10,0-12,0	
Nº ruedas (n) por pata		2	4	4	6	8	
Separación (S) de ruedas (m)		0,80-1,20	0,90-1,20	1,00-1,40	1,10-1,40	1,10-1,40	
Distancia (B) entre topes (m)		8,00	13,5-14,5	13,5-14,5	16,5-17,5	20,5-22,5	
Distancia (A) tirante anclaje/agarre (m)		3,5	5,0-5,5	5,0-5,5	5,0-5,5	5,0-6,0	
MÁXIMA CARGA POR RUEDA (kN) ²⁾							
En condiciones de Operación ³⁾	Verticales pluma en esquina	$Q_{pata\ esquina}$	650	550	600	650	700
		$Q_{patas\ laterales}$	350	350	400	450	450
	Verticales pluma en lado ($Q_{pata\ lado}$)		600	500	550	600	650
	Horizontales ⁶⁾		0,13 verticales				
En condiciones Extremas ⁴⁾	Verticales		370	300	350	350	380
	Horizontales ⁶⁾		0,1 verticales				
MÁXIMA CARGA EN DISPOSITIVOS DE ANCLAJE							
En condiciones Excepcionales debido a viento extraordinario ⁵⁾	Tracción tirante de anclaje (kN/pata)		580	650	500	990	1.100
	Horizontal en brochado (kN/lado)		230	375	450	650	950
Notas							
<p>– Cuando, de acuerdo con lo previsto en esta Recomendación, se adopten los valores consignados en esta tabla para la definición de cargas mínimas, en aquéllos parámetros que se incluya un rango de valores se utilizará a estos efectos el valor medio.</p> <p>1) El tipo de grúa que se recomienda en función del buque de manga máxima de la flota esperable en el atraque debe tomarse como especialmente indicada para obras de atraque y amarre de usos comerciales para graneles sólidos y mercancía general convencional ordinaria. Para obras de atraque multipropósito, ferris, carga convencional pesada y contenedores debe tomarse en consideración adicionalmente el peso unitario de las cargas a manipular, por lo que es conveniente la utilización como mínimo de grúas 300/35 para estos usos, independientemente del buque de manga máxima.</p> <p>2) Las cargas máximas por rueda consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud para cada tipo de grúa, habiéndose obtenido del análisis de las correspondientes a diferentes fabricantes. Dependiendo del fabricante, del tipo de carro, de los elementos de izado (gancho, cuchara,...) y de la configuración geométrica las variaciones pueden ser significativas por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si éste no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse por los equipos de manipulación, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación.</p> <p>3) Considerando una velocidad de viento límite de operatividad en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\ m) = 24\ m/s$ ($\approx 86\ km/h$), actuando en la dirección de la posición de la pluma y en el sentido más desfavorable, e incluyendo los efectos inerciales asociados con el movimiento del equipo y con la elevación de la carga. Definidas las cargas verticales en las ruedas de las patas más cargadas, las cargas sobre el resto de patas pueden obtenerse considerando la posición de la pluma y que la suma de todas las cargas deben igualar a las cargas verticales actuantes (peso propio+máxima carga izada+efectos inerciales). Los efectos inerciales incluidos en las cargas consignadas en esta tabla pueden estimarse como el 15% de la máxima carga izada.</p> <p>4) Considerando que la velocidad de viento en el emplazamiento correspondiente a condiciones extremas es $V_{v,3s}(10\ m) = 40\ m/s$ ($\approx 144\ km/h$) en la dirección perpendicular o paralela a la banda de circulación del equipo. Definidas las cargas en las ruedas de las patas más cargadas, las cargas verticales de actuación simultánea sobre el resto de patas pueden obtenerse considerando que la suma de todas las cargas deben igualar a las cargas verticales actuantes (peso propio). Para la determinación de las cargas por rueda para otra velocidad del viento, puede utilizarse el siguiente procedimiento simplificado:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Considerar que el peso propio de equipo se reparte uniformemente entre todas las patas. De esta forma se puede obtener las componentes de la carga debido al viento en cada pata ($Q_{fc,2\ \ v_0}$) tanto cargada como descargada para la velocidad del viento $V_0 = 40\ m/s$. – Considerar que la componente del viento para una velocidad V_1 ($Q_{fc,2\ \ v_1}$) puede obtenerse mediante la relación: $Q_{fc,2\ \ v_1} = Q_{fc,2\ \ v_0} \cdot (V_1/V_0)^2$ <p>5) Considerando que la velocidad de viento en el emplazamiento correspondiente a condiciones excepcionales debido a viento extraordinario es $V_{v,3s}(10\ m) = 50\ m/s$ ($\approx 180\ km/h$) en la dirección perpendicular o paralela a la banda de circulación del equipo. Las máximas cargas por rueda en dicha condición de trabajo, así como las cargas de actuación simultánea con las cargas máximas en las ruedas de las patas descargadas, pueden determinarse a través del procedimiento establecido en 4) a partir de las definidas para condiciones extremas, considerando la velocidad del viento correspondiente a estas condiciones excepcionales. Así mismo, utilizando la metodología incluida en la Nota 4) pueden obtenerse las fuerzas de tracción en el tirante y la fuerza horizontal en el brochado para otra velocidad del viento. A estos efectos se considerará que, en esta condición, en los brochados se concentra la totalidad de la fuerza horizontal debida al viento.</p>							

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas pórtico estándar o convencionales sobre carriles ⁷⁾ (continuación)

Notas

- 6) Carga horizontal en dirección transversal o en dirección longitudinal a la dirección de rodadura, concordante con la dirección de actuación del viento. Definidas las cargas horizontales en las patas más cargadas, puede considerarse que sobre las otras patas actúa la misma carga horizontal. En condiciones de operación, para una velocidad del viento límite de operatividad de 24 m/s, la componente de la acción horizontal debida al viento puede aproximarse al 3% de la carga vertical sin considerar la componente vertical debida a los efectos inerciales. En condiciones de operación debe considerarse que también actúa simultáneamente una acción horizontal longitudinal adicional en la dirección de la banda de circulación del equipo, causada por los posibles movimientos del equipo (traslación o frenada) en la dirección de rodadura. Esta última acción horizontal puede estimarse como el 15% de las cargas verticales.
- 7) Los otros valores representativos (de combinación, frecuente y cuasi-permanente) en condiciones del equipo fuera de servicio pueden aproximarse a partir de las máximas cargas por rueda correspondientes a condiciones extremas, considerando la velocidad del viento que le corresponda a cada valor representativo de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.8., calculados a través del procedimiento establecido en la cláusula 4). En condiciones del equipo en servicio, simplificada mente podrán adoptarse valores reducidos de los valores establecidos para condiciones normales de operación que, para el caso del valor frecuente serán iguales a 0,95 los correspondientes a dichos valores y para el caso del valor cuasi-permanente el 0,90.

Por otra parte, algunas grúas de contenedores incorporan respecto a las grúas convencionales elementos, estructuras y dispositivos dirigidos a permitir un cierto grado de automatización de las operaciones. Uno de estos dispositivos es dotar a la grúa de dos carros de elevación y traslación (double trolley), con el objeto de posibilitar que el movimiento completo del contenedor entre el buque y el muelle o equipo auxiliar de transporte y depósito sea efectuado en dos partes, facilitando la automatización de la última operación, la cual es mucho más factible de automatizar que la primera debido a las dificultades que suponen los movimientos de la grúa y el buque. Para ello, dichas grúas incorporan una plataforma auxiliar, situada a una cota intermedia entre la pluma y la superficie del muelle, que constituye el punto de depósito intermedio que permite la independencia de operaciones y en el que tiene lugar el enganche o desenganche del contenedor por cada uno de los carros. Estas grúas pueden suponer aumentos de productividad de hasta el 50% respecto a una grúa convencional. Sin embargo, son mucho más rígidas y pesadas, dan lugar a mayores costes operativos y son entre un 30 y un 50% más caras que una grúa de contenedores convencional de capacidad de elevación y alcance equivalentes.

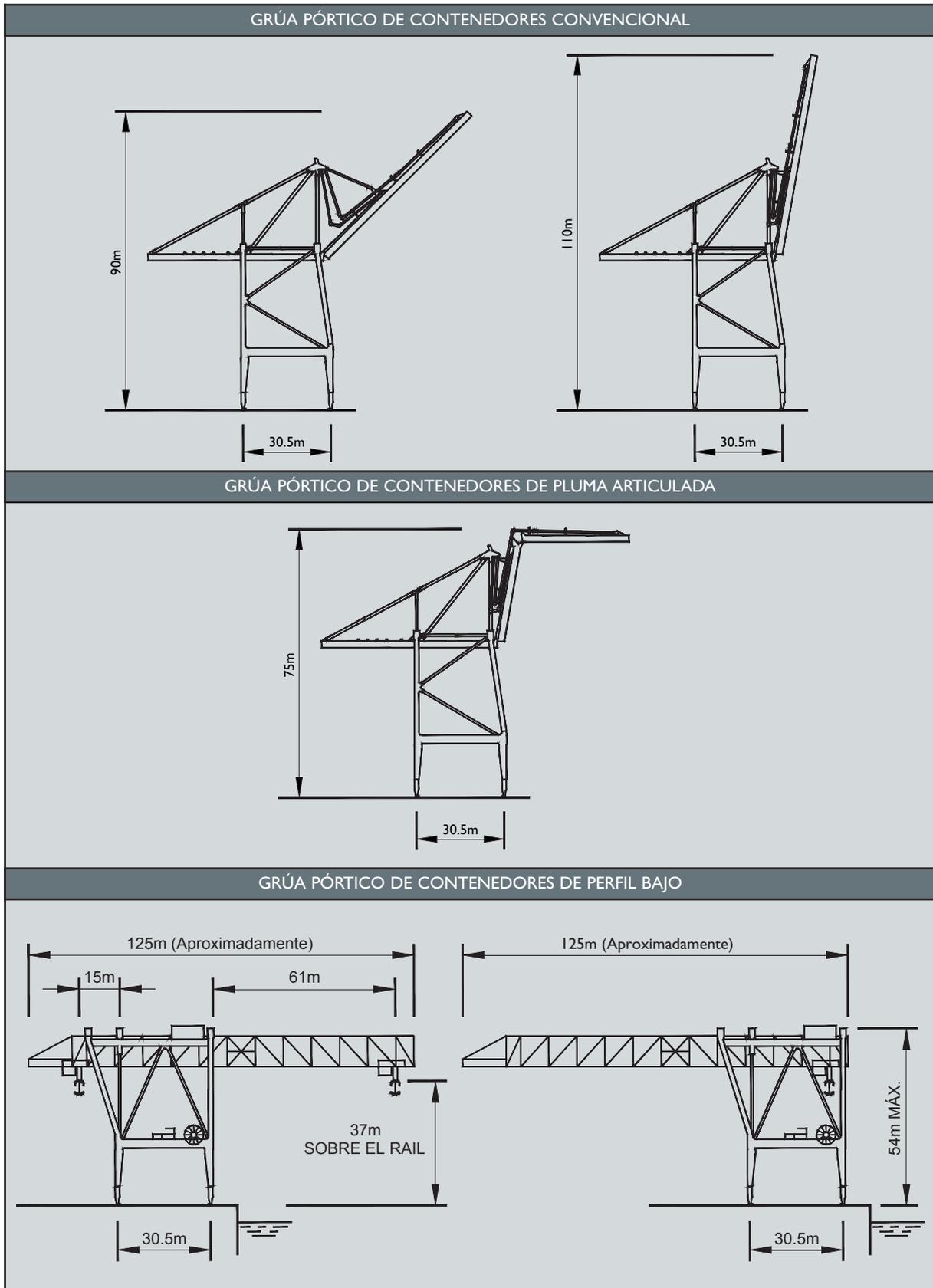
Asimismo, otras tecnologías están siendo incorporadas paulatinamente a las grúas pórtico de contenedores para aumentar su productividad o la precisión y efectividad de los sistemas de control de carga, especialmente para las grúas de mayor alcance tanto en el lado mar como en el lado tierra, como los dispositivos de enganche y desenganche en tándem (spreader twin-lift), con capacidad para mover simultáneamente dos contenedores de 40', uno de 40' y dos de 20' o cuatro de 20', los carros múltiples en plumas simples o en tándem o los sistemas MOT (Machinery on Trolley) en los que la maquinaria que regula el movimiento del carro se desplaza conjuntamente con el mismo.

En general, estas grúas también son más pesadas que las convencionales. Por ejemplo, una grúa dotada con dispositivos de enganche dobles da lugar a cargas por rueda entre un 35 y un 40% superiores a las transmitidas por una grúa convencional de capacidad de elevación y alcance equivalente. Asimismo, una grúa dotada de sistemas MOT de tracción del carro da lugar a cargas por rueda aproximadamente un 15% superiores a las transmitidas por una grúa convencional equivalente con un sistema de tracción del carro tipo RTT.

◆ *Cargas mínimas*

En previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación de la obra de atraque y amarre durante su vida útil o de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, es recomendable que se adopten como mínimo los siguientes valores representativos de las cargas transmitidas por equipos de movilidad restringida en las obras de atraque y amarre de los siguientes usos en las que estén previstos sistemas de manipulación de mercancías discontinuos por elevación:

Figura 4.6.4.1. Comparación de grúas pórtico de contenedores convencionales y no convencionales en relación con la altura sobre carriles en posición de estacionamiento



- Para usos comerciales de graneles sólidos sin instalación especial ⁽³³⁾ y mercancía general convencional ordinaria

En función de la manga del buque de manga máxima de la flota esperable en el atraque, las cargas correspondientes a las grúas pórtico incluidas en la tabla 4.6.4.9 tendrán la consideración de cargas mínimas en proyectos de obras de atraque para usos comerciales de graneles sólidos sin instalación especial y mercancía general convencional ordinaria.

- Para usos comerciales de mercancía general convencional pesada, ferris y multipropósito y para usos industriales y militares

Para buques de la flota esperable en el atraque tipo Panamax y PostPanamax, las cargas correspondientes a las grúas pórtico incluidas en la tabla 4.6.4.9 tendrán la consideración de cargas mínimas en proyectos de obras de atraque y amarre para usos comerciales de mercancía general convencional pesada, ferris y multipropósito, así como para usos industriales y militares. Para buques de la flota esperable en el atraque tipo Feeder o SubPanamax, las cargas correspondientes a la grúa 300/35 incluidas en dicha tabla tendrán la consideración de cargas mínimas, independientemente de la manga del buque de manga máxima de la flota esperable en el atraque.

- Para usos comerciales de contenedores y graneles sólidos con instalación especial (Ver nota 33)

En función del tamaño del buque máximo de proyecto, las cargas correspondientes a las grúas incluidas en la tabla 4.6.4.10 tendrán la consideración de cargas mínimas en proyectos de obras de atraque para usos comerciales de contenedores. Para buques de la flota esperable en el atraque tipo Feeder o SubPanamax, las cargas correspondientes a las grúas para buques Panamax (13 contenedores en manga) incluidas en dicha tabla tendrán la consideración de cargas mínimas, independientemente de la separación de carriles que pueda adoptarse ⁽³⁴⁾.

Para usos de graneles sólidos con instalación especial, se podrán asimilar las cargas máximas transmitidas por los pórticos de carga-descarga de graneles sólidos con cuchara a las transmitidas por los pórticos de contenedores con alcance lado mar equivalente. Por tanto, en función del alcance necesario, dependiente de la manga del buque de manga máxima de la flota esperable en el atraque, las cargas correspondientes a las grúas de alcance equivalente incluidas en la tabla 4.6.4.10 tendrán la consideración de cargas mínimas en proyectos de obras de atraque y amarre para estos usos. El alcance necesario podrá calcularse a partir de la manga del buque de manga máxima de la flota esperable en el atraque (B_{max}) por medio de la siguiente formulación, considerando que desde el carril lado mar y la borda del buque se consumen entre 4 y 5 m y que la anchura entre brazolas de escotillas es del orden del 40% de la manga: $\text{Alcance} = 5 + 0,70 \cdot B_{max}$ (en m).

Para buques graneleros con manga menor que los buques Panamax (32,5 m), las cargas correspondientes a las grúas para buques Panamax incluidas en la tabla 4.6.4.10 tendrán la consideración de cargas mínimas, independientemente de la separación de carriles que pueda adoptarse.

En obras de atraque y amarre para el resto de usos no se adoptan cargas mínimas transmitidas por equipos de manipulación de movilidad restringida.

(33) En el campo de los sistemas de manipulación discontinuos de graneles sólidos por elevación se considerará instalación especial a los pórticos de descarga con cuchara. Por tanto, en este ámbito se considerará que no existe instalación especial cuando la carga-descarga se realice mediante grúas pórtico tipo.

(34) Si bien es habitual que las grúas en muelles de contenedores para buques feeder y sub Panamax –de 10 a 13 contenedores en manga– tengan una separación de carriles entre 15 y 18 m, la tendencia actual es aumentar la separación de carriles a un mínimo de 30,50 m, ya que anchos de vías mayores permiten incrementar la estabilidad de la grúa, disminuyendo las reacciones máximas por rueda y pata. A los efectos de las cargas máximas puede considerarse que las grúas para buques subPanamax con separaciones de carriles entre 15 y 18 m no son mayores que las transmitidas por las grúas Panamax con 30,5 m de separación de carriles.

El resumen de las cargas mínimas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías de movilidad restringida a adoptar en las áreas de operación de obras de atraque y amarre en las que estén previstos sistemas de carga y descarga del buque mediante sistemas discontinuos por elevación se incluye en la tabla 4.6.4.23.

a₂) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación en cada condición de trabajo sea la combinación poco probable o fundamental será de aplicación lo dispuesto en el epígrafe a₁) de este apartado para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos. Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable sea la combinación frecuente o cuasi-permanente (ver apartado 4.1.1.2) se adoptarán como valores representativos de las cargas transmitidas por equipos de manipulación fijos y de movilidad restringida los valores frecuentes y cuasi-permanentes definidos en el epígrafe anterior.

Tabla 4.6.4.10. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas pórtico estándar o convencionales sobre carriles para contenedores⁶⁾

TIPO DE GRÚA PARA CONTENEDORES						
Para buques con n° filas de contenedores en manga	< 13	13	13-17	17-19	19-22	≥ 22
Tamaño buque máximo de proyecto	Feeder	Panamax	Post Panamax	Super Post Panamax	Suezmax	Malacamax
Capacidad del buque (TEUS)	300-3.000	3.000-4.000	4.000-8.000	8.000-10.000	10.000-12.000	> 12.000
Manga del buque (m)	21-32,3	32,3	32,3-43	43-46	46-53	53-60
CARACTERÍSTICAS GRÚA						
Capacidad de elevación bajo spreader (kN)	320-400	400	500	520	580	+ 650
Alcance lado mar (m)	30-35	35-47	45-47	50-55	55-60	65-75
Alcance lado tierra (m)	10	12-18	15-18	15-20	15-20	15-22
Max. altura de elevación sobre carriles (m)	25	30-34	34	34	36	40-46
Max. altura total de elevación (m)	50	50	50	52	54	+ 60
Gálibo bajo portal (m)	12	12	12	12-15	15	12-18
Peso (kN)	4.000-5000	5.000-8.000	9.000-12.000	10.000-13.000	11.000-15.000	16.000≥20.000

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas pórtico estándar o convencionales sobre carriles para contenedores ⁶⁾ (continuación)

CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA							
Distancia (G) entre carriles (m)		15-30,50	30,50	30,50	30,50	30,50	30,50-40
Espacio entre patas (m)		18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3
Separación (W) entre patas (m)		13-15	15-17	15-17	15-17	15-17	15,17
Nº ruedas por pata (n)		6	8	8	8	8	8
Separación (S) de ruedas (m)		1,00-1,20	1,20-1,50	1,30-1,50	1,30-1,50	1,30-1,50	1,30-1,50
Distancia (B) entre topes (m)		20-24	24-27	24-27	24-27	24-27	24-27
Distancia (A) tirante anclaje/agarre (m)		9	9	9	9	9	9
MÁXIMA CARGA POR RUEDA (kN) ¹⁾							
En condiciones de Operación ²⁾	Vertical lado mar	450-600	500-600	600-850	900-950	950-1.000	> 1.025
	Vertical lado tierra	350-450	400-500	500-650	550-730	700-800	> 825
	Horizontal ⁵⁾	75-100	80-100	90-130	130-150	140-160	> 180
En condiciones Extremas ³⁾	Vertical lado mar	300-400	250-600	450-650	850-950	1.000-1.100	> 1.300
	Vertical lado tierra	400-500	300-650	450-750	750-850	900-1.000	> 1.200
	Horizontal ⁵⁾	45-60	50-100	70-110	130-140	130-150	> 195
MÁXIMA CARGA EN DISPOSITIVOS DE ANCLAJE							
En condiciones Excepcionales debido a viento extraordinario ⁴⁾	Tracción tirante de anclaje (kN/pata)	500-3.000	500-3.500	500-3.500	3.500-4.000	4.000-5.500	> 6.000
	Horizontal en brochado (kN/lado)	850-1.150	1.200-2.400	1.750-2.750	3.250-3.500	3.250-3.750	> 4.800
Notas							
<p>– Cuando, de acuerdo con lo previsto en esta Recomendación, se adopten los valores consignados en esta tabla para la definición de cargas mínimas, en aquellos parámetros que se incluya un rango de valores se utilizará a estos efectos el valor medio.</p> <p>1) Las cargas máximas por rueda consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud para cada tipo de grúa, habiéndose obtenido del análisis de las correspondientes a diferentes fabricantes. Dependiendo del fabricante, del tipo de carro y spreader y de la configuración geométrica, las variaciones pueden ser significativas por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si ésto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse por los equipos de manipulación, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación.</p> <p>2) Considerando una velocidad de viento límite de operatividad en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 24\text{ m/s}$ ($\approx 86\text{ km/h}$), actuando en la dirección transversal a la banda de circulación del equipo y en el sentido más desfavorable, e incluyendo los efectos inerciales asociados con el movimiento del equipo y con la elevación de la carga. Definidas las cargas en las ruedas de las patas más cargadas, las cargas verticales sobre el resto de patas pueden obtenerse considerando que la suma de todas las cargas debe igualar a las cargas verticales actuantes (peso propio+máxima carga izada+efectos inerciales). Los efectos inerciales incluidos en las cargas consignadas en esta tabla pueden estimarse como el 15% de la máxima carga izada.</p> <p>3) Considerando que la velocidad de viento en el emplazamiento correspondiente a condiciones extremas es $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 40\text{ m/s}$ ($\approx 144\text{ km/h}$) en la dirección perpendicular a la banda de circulación del equipo. Definidas las cargas verticales en las ruedas de las patas más cargadas, las cargas de actuación simultánea sobre el resto de patas pueden obtenerse considerando que la suma de todas las cargas deben igualar a las cargas verticales actuantes (peso propio). Para la determinación de las cargas por rueda para otra velocidad del viento, puede utilizarse el siguiente procedimiento simplificado:</p> <p>– Considerar que el peso propio de equipo se reparte uniformemente entre todas las patas. De esta forma se puede obtener las componentes de la carga debido al viento en cada pata ($Q_{fc,2 v0}$) tanto cargada como descargada para la velocidad del viento $V_0 = 40\text{ m/s}$.</p> <p>– Considerar que la componente del viento para una velocidad V_1 ($Q_{fc,2 v1}$) puede obtenerse mediante la relación:</p> $Q_{fc,2 v1} = Q_{fc,2 v0} \cdot (V_1/V_0)^2$ <p>4) Considerando que la velocidad de viento en el emplazamiento correspondiente a condiciones excepcionales debido a viento extraordinario es $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 50\text{ m/s}$ ($\approx 180\text{ km/h}$) en la dirección perpendicular a la banda de circulación del equipo. Las máximas cargas por rueda en dicha condición de trabajo, así como las cargas de actuación simultánea con las cargas máximas en las ruedas de las patas descargadas, pueden determinarse a través del procedimiento establecido en 3) a partir de las definidas para condiciones extremas, considerando la velocidad del viento correspondiente a estas condiciones excepcionales. Así mismo, utilizando la metodología incluida en la Nota 3) pueden obtenerse las fuerzas de tracción en el tirante y la fuerza horizontal en el brochado para otra velocidad del viento. A estos efectos se considerará que, en esta condición, en los brochados se concentra la totalidad de la fuerza horizontal debida al viento.</p> <p>5) Carga horizontal en dirección transversal a la dirección de rodadura, concordante con la dirección de actuación del viento. Definidas las cargas horizontales en las patas más cargadas, puede considerarse que sobre las otras patas actúa la misma carga horizontal. En condiciones normales de operación, para una velocidad del viento límite de operatividad de 24 m/s, la componente de la acción horizontal debida al viento puede aproximarse al 5% de la carga máxima vertical sin considerar la componente vertical debida a los efectos inerciales. En condiciones normales de operación también debe considerarse que actúa</p>							

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas pórtico estándar o convencionales sobre carriles para contenedores⁶⁾ (continuación)

Notas

simultáneamente una acción horizontal longitudinal adicional en la dirección de la banda de circulación del equipo, causada por los posibles movimientos del equipo (traslación o frenada) en la dirección de rodadura. Esta última acción horizontal puede estimarse como el 15% de las cargas verticales.

- 6) Los otros valores representativos (de combinación, frecuente y cuasi-permanente) en condiciones del equipo fuera de servicio pueden aproximarse a partir de las máximas cargas por rueda correspondientes a condiciones extremas, considerando la velocidad del viento que le corresponda a cada valor representativo de acuerdo con los dispuesto en la tabla 4.6.4.8., calculados a través del procedimiento establecido en la cláusula 3). En condiciones del equipo en servicio, simplídicamente podrán adoptarse valores reducidos de los valores establecidos para condiciones normales de operación que, para el caso del valor frecuente serán iguales a 0,95 los correspondientes a dichos valores y para el caso del valor cuasi-permanente el 0,90.

a₃) Para la verificación de modos de parada operativa

El agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de las operaciones de carga y descarga de mercancías con buque atracado es el agente “manipulación de mercancías mediante sistemas discontinuos por elevación con equipos fijos y de movilidad restringida ($q_{v,211}$)”, cuando la operativa de carga y descarga del buque se realice mediante este tipo de equipos.

A los efectos de verificar este modo de parada operativa se definirán los valores umbral de cada una de las variables de los agentes climáticos, en su caso, operativos que limitan las operaciones de carga y descarga de cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, en cada una de las direcciones en las que puedan actuar, para cada una de las siguientes causas de paralización de estas operaciones que sean relevantes en el emplazamiento, de acuerdo con lo dispuesto para las correspondientes condiciones de trabajo de operación de este agente en el epígrafe a_1) de este apartado:

- Paralización por razones intrínsecas de seguridad del equipo y de la operación.
- Paralización por incompatibilidad con los movimientos del buque atracado.
- Paralización por rebases de las aguas exteriores o, en su caso, del trasdós, sobre el nivel de coronación de la obra de atraque.
- Paralización por insuficiencia de alturas de elevación del equipo de manipulación.
- Paralización por rebases del oleaje sobre la coronación de obras de abrigo, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a éstas.

Un vez definidos en magnitud y dirección, los valores umbral de las variables de los agentes climáticos y operativos que limitan la realización de las operaciones de carga y descarga, tomando en consideración todas las causas de paralización, de acuerdo con los procedimientos establecidos en esta Recomendación, la probabilidad de parada de las operaciones de carga y descarga se obtendrá como la suma de las probabilidades absolutas de excedencia en el emplazamiento en el año medio de los umbrales de operatividad más restrictivos de cada una de dichas variables en cada una de las direcciones, de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.1.1.3 de esta Recomendación. El nivel de operatividad asociado a estas operaciones será el complementario de dicha probabilidad de parada

A estos efectos, se considerarán como variables climáticas que limitan la realización de las operaciones de carga y descarga la velocidad del viento para la causa de paralización por razones de seguridad del equipo, el nivel alto y bajo de las aguas y, en su caso, la altura de ola, para las causas de paralización por rebases o insuficiencia de alturas de elevación del equipo, y la velocidad del viento, la altura de ola, el periodo del oleaje o la velocidad de la corriente, así como los efectos hidrodinámicos inducidos por buques en tránsito, para la causa de paralización por movimientos del buque atracado.

Tal como se ha indicado en el apartado 3.2.2.1 cuando se utilicen equipos de manipulación de mercancías por elevación es recomendable que los niveles de coronación de las obras de atraque se proyecten de modo que la probabilidad de parada de las operaciones de carga y descarga asociada con

los rebases de las aguas exteriores y con la insuficiencia de las alturas de elevación del equipo sea nominalmente nula. De igual forma, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a diques es recomendable que los niveles de coronación de las obras de abrigo se proyecten de modo que la probabilidad de parada de las operaciones de carga y descarga asociada con los rebases de oleaje a través de la coronación del dique sea nominalmente nula. Cumpliendo estas recomendaciones no será necesario considerar para la verificación de los niveles de operatividad la contribución de estas causas de paralización de las operaciones de carga y descarga.

b) Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilísticas de las ecuaciones de verificación de los modos de fallo es admisible considerar simplificada que las cargas más desfavorables para el modo de fallo analizado transmitidas por equipos fijos y de movilidad restringida se pueden definir para los ciclos de sollicitación correspondientes a condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario por medio de funciones de distribución obtenidas como funciones derivadas de las funciones de distribución extremales marginales de la velocidad del viento en el emplazamiento, considerando posición replegada del equipo o de tormenta con dispositivos de anclaje activados respectivamente. En el caso de que para el modo de fallo considerado, el viento no sea el agente predominante del estado meteorológico de proyecto pero esté correlacionado con este último, se utilizarán las funciones de distribución de la velocidad del viento condicionadas a cada valor de la variable climática predominante (ver apartado 4.6.2.1. b).

Para los ciclos de sollicitación correspondientes a condiciones operativas (realización de las operaciones de carga y descarga), cuando se definen directamente valores nominales límite de las cargas transmitidas por los equipos en esas condiciones se considerarán estos valores como deterministas. Cuando se definen límites de operatividad del equipo u otras condiciones de operatividad asociados a la velocidad del viento, se considerará que las componentes debidas al viento que se introducen en la relación funcional que relaciona en cada equipo las cargas transmitidas con los agentes causantes se derivan del régimen medio anual de la velocidad del viento, truncado por dicho umbral de operatividad. En los casos que se considere que la variable que define el ciclo de sollicitación correspondiente a estas u otras condiciones operativas no sea el viento (p.e. movimientos del buque debido a agitación por oleaje) se considerará que la componente debida al viento de las cargas transmitidas por los equipos, para cada configuración de los mismos, posición de la carga y dirección del viento se define a través de una función de distribución derivada de la función de distribución de la variable velocidad del viento condicionada al valor del límite de operatividad de la variable climática que determina la operatividad de la instalación, siempre que puedan considerarse correlacionadas, y truncada, en su caso, en el límite de operatividad establecido para el viento por los fabricantes de los equipos o por el resto de causas de paralización de las operaciones. En el caso de que el viento se considere independiente del agente que condiciona las operaciones de carga y descarga u otras condiciones de operatividad, la función de distribución de la componente de las cargas debidas al viento se derivará del régimen medio de la velocidad del viento en el emplazamiento, truncado, en su caso, por el límite de operatividad establecido para el mismo (ver apartado 4.6.2.1. b).

Para los ciclos de sollicitación correspondientes a condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental, así como a condiciones excepcionales o extremas debidas a la presentación de la acción sísmica, las funciones de distribución de las componentes debidas al viento de las cargas transmitidas por los equipos se derivarán de los regímenes medios marginales de la velocidad del viento (ver apartado 4.6.2.1. b), salvo en aquellos casos en los que la acción accidental está asociada a un determinado estado meteorológico y correlacionada con el viento. En este caso, las componentes debidas al viento de las cargas transmitidas por los equipos se derivarán de la función de distribución de la velocidad del viento condicionada al valor de la variable climática que define el estado meteorológico.

En todos los casos se considerará que las componentes debidas al peso propio del equipo que se introducen en la relación funcional que relaciona en cada equipo las cargas transmitidas con los agentes causantes, para la configuración del equipo y, en su caso, posición de la carga manipulada y sistemas de ancla-

je considerado, se definen considerando su valor nominal y que las componentes debidas al peso y movimiento de la carga manipulada en los ciclos de sollicitación en condiciones operativas y en los ciclos de sollicitación correspondientes a condiciones excepcionales cuando se considere que el equipo está en servicio se definen considerando que la función de distribución del peso de la carga manipulada es una normal de media el 80% del valor nominal y coeficiente de variación 0,15.

Estas aproximaciones pueden aplicarse para definir las funciones de distribución de las máximas cargas por rueda transmitidas por las grúas pórtico y de contenedores tipo considerados en las tablas 4.6.4.9 y 4.6.4.10 durante los ciclos de sollicitación correspondientes a condiciones extremas y excepcionales, a partir de los datos consignados en las mismas y la metodología definida para su adaptación a diferentes velocidad del viento. Por tanto, este procedimiento también será de aplicación para la definición probabilista en dichos ciclos de las cargas mínimas a considerar para cada uso de la obra de atraque y tamaño del buque de manga máxima de la flota esperable en el atraque, de acuerdo con lo señalado en el apartado anterior de esta Recomendación.

En el caso de que se apliquen las cargas máximas incluidas en las tablas 4.6.4.9 y 4.6.4.10 correspondientes al ciclo de sollicitación en condiciones de trabajo operativas, podrán considerarse como valores nominales de los límites operativos establecidos por criterios de explotación del equipo y, por tanto simplificada, carentes de incertidumbre estadística durante la fase de servicio, siempre que sea el viento el que determine la operatividad de la instalación de atraque.

Para la verificación probabilista del modo de parada correspondiente a la paralización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado se utilizarán las funciones de densidad conjunta en el emplazamiento correspondientes a las variables en las cuales se han definido umbrales límite de operatividad para la realización de las operaciones de carga y descarga. La probabilidad de parada asociada a estas operaciones se obtendrá integrando la función de densidad conjunta en el dominio de fallo definido por los valores umbral de las variables establecidos para la realización de las operaciones de carga y descarga. La determinación de la función de densidad conjunta puede realizarse de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.4.4.7.1.3. a_{52} de esta Recomendación.

4.6.4.2.1.1.2. Cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación ($q_{v,212}$)

Las cargas a tomar en consideración que afectan a las obras de atraque y amarre transmitidas por los equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación, como las grúas móviles sobre neumáticos u orugas ⁽³⁵⁾, son debidas fundamentalmente a las reacciones y presiones ejercidas, bien en los calzos estabilizadores necesarios para llevar a cabo las operaciones de carga y descarga en las condiciones de capacidad/alcance establecidas para el equipo sobre neumáticos, bien en las orugas.

Dichas cargas están asociadas fundamentalmente con los siguientes factores:

- ◆ Configuración geométrica del equipo, particularmente en lo que se refiere al número, disposición, separación, forma y tamaño de los calzos estabilizadores o de las orugas.
- ◆ Peso propio del equipo, incluyendo el peso de los sistemas o dispositivos de elevación o carga (gancho, cuchara o spreader).

(35) Las grúas sobre orugas es probable que causen daños relevantes en la superficie de las obras de atraque y en los pavimentos portuarios por lo que se recomienda no considerarlos como equipos de manipulación para la realización de actividades de carga, descarga, estiba y desestiba en obras de atraque y amarre de carácter definitivo. No obstante la utilización de este tipo de equipos puede ser necesario tomarla en consideración para la verificación de la obra en la fase de construcción. Por dicha razón, la caracterización de este agente en el caso de equipos sobre orugas no se desarrolla en este apartado, considerándose, no como un agente de manipulación de mercancías, sino como un agente asociado con el método constructivo. En el caso de que se prevea su utilización en las operaciones portuarias, las presiones transmitidas por dichos equipos son menores que las transmitidas por los equipos de movilidad no restringida sobre neumáticos de capacidad equivalente, por lo que estos últimos suelen ser más restrictivos a los efectos de la verificación de los modos de fallo locales.

- ◆ Capacidad de elevación del equipo en relación con su alcance.
- ◆ Efectos inerciales asociados con el movimiento del equipo y con la elevación de la carga.
- ◆ Los efectos de los agentes del medio físico, particularmente del viento.

Los parámetros que definen a este agente para el caso de equipos sobre neumáticos se incluyen en la tabla 4.6.4.11. Para una determinada posición de la pluma y de la carga, este agente se define mediante las cargas concentradas correspondientes a las acciones y presiones verticales y a las acciones horizontales en los calzos estabilizadores cuando el equipo está en condiciones operativas de carga o descarga. A los efectos de la definición de este agente no se consideran las cargas transmitidas por el equipo en condiciones de rodadura o las transmitidas por las ruedas en el caso de realizar operaciones de carga-descarga sin calzos estabilizadores en equipos, ya que la capacidad de elevación del equipo en estas condiciones, y por tanto las cargas transmitidas, son significativamente menores.

Su distribución espacial se considerará libre, limitada, en su caso, únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la instalación. Para cada estado de proyecto, se adoptará la posición de los calzos estabilizadores y la distribución de cargas entre cada uno de ellos, correspondiente a la configuración del equipo, dirección del viento y posición de la carga, que produzca el efecto más desfavorable para el modo de fallo analizado.

A los efectos de la verificación de modos de fallo locales, en general será suficiente adoptar una única carga vertical concentrada, correspondiente al valor mayor que se produce en un calzo estabilizador, considerando todas las configuraciones del equipo, carga y viento compatibles con el estado de proyecto analizado, conjuntamente con la carga horizontal compatible con la misma en el calzo. No será necesaria la consideración de este agente para la verificación de modos de fallo globales en aquellos casos en los que la sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento de actuación simultánea considerada en el emplazamiento sea mayor que la máxima carga vertical total transmitida por los calzos (peso propio del equipo+máxima capacidad de elevación), distribuida uniformemente en la superficie contenida entre sus centros de gravedad (base soporte). En el caso contrario, se considerará la posibilidad de actuación simultánea de varios equipos de manipulación de movilidad no restringida.

Las cargas transmitidas por los equipos de movilidad no restringida se considerarán únicamente en los estados de proyecto representativos de los ciclos de solicitud asociados a la normal explotación de la instalación de atraque (condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga), así como en los estados sísmicos y en los estados asociados a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario (condiciones de trabajo excepcionales), ya que cuando no está operando o se presentan condiciones de temporal (condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presencia de viento extraordinario) el equipo está fuera de servicio, estacionándose en áreas alejadas de la obra de atraque y amarre. Las cargas transmitidas por cada uno de los equipos en estas condiciones se obtendrán a partir de la combinación de las acciones simultáneas y compatibles que actúan sobre los equipos en dichos estados; es decir, las debidas al peso propio del equipo, a la carga manipulada (incluyendo los efectos inerciales asociados con el movimiento de la carga) y al viento, tomando en consideración las diferentes posiciones del equipo y de la carga manipulada y la dirección del viento. Para ello, el fabricante del equipo deberá suministrar las cargas verticales y horizontales transmitidas por cada agente actuando aisladamente en cada una de las posiciones diferenciadas relevantes de la pluma (frontal, lateral y esquina) considerando para cada una de ellas la combinación máxima capacidad de carga/alcance. Para ello es recomendable solicitar estos datos al fabricante con el formato y requerimientos señalados en la tabla 4.6.4.12, de forma que sea posible definir los valores representativos y, en su caso, las funciones de distribución asociados con dichas cargas.

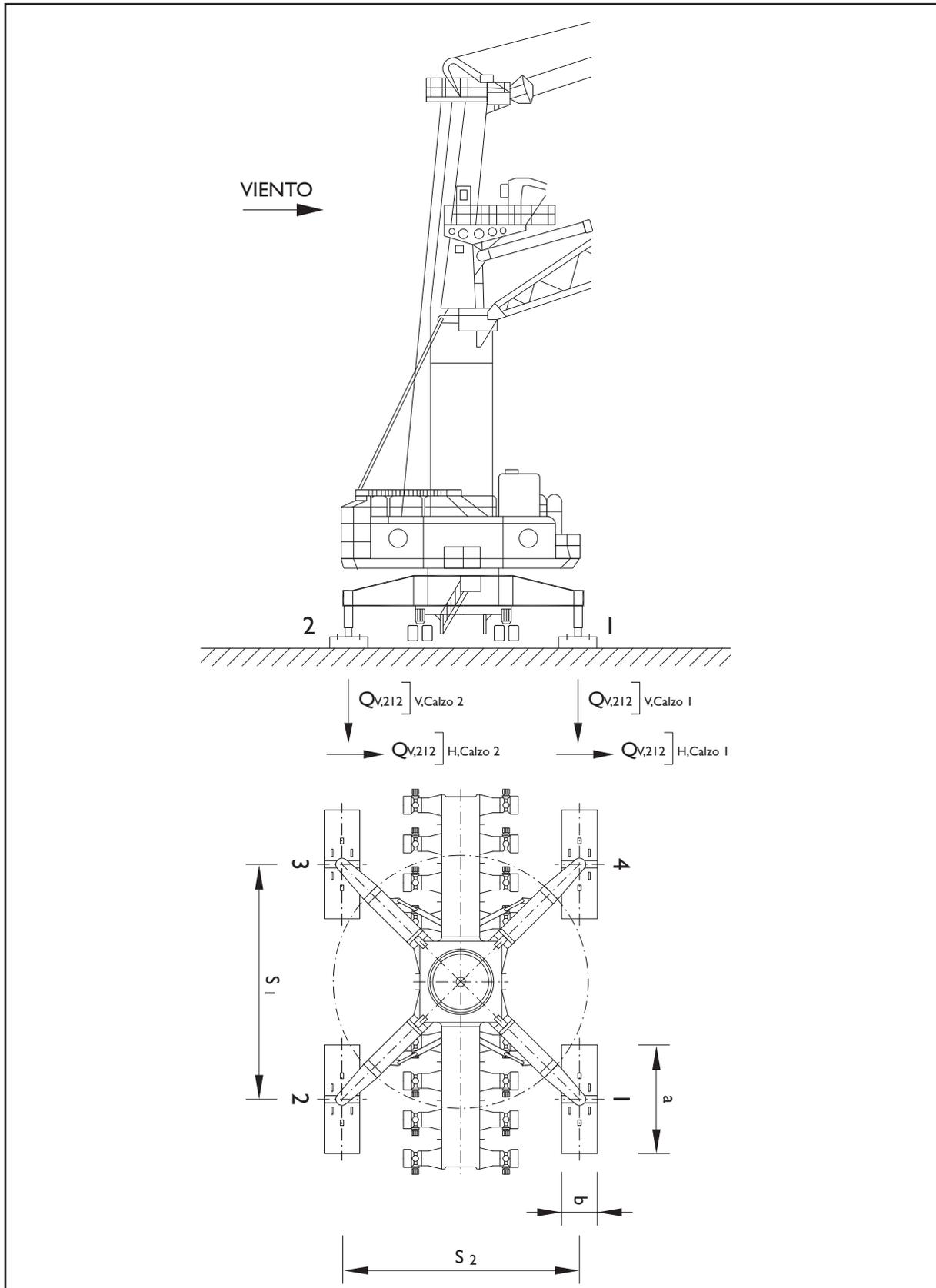
En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las cargas transmitidas por los equipos de manipulación de movilidad no restringida se definirán:

a) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas

a₁) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos

- ◆ *En condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, las cargas transmitidas por los equipos de movilidad*

Tabla 4.6.4.11. Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida sobre neumáticos (Grúas móviles)



Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida sobre neumáticos (Grúas móviles) (continuación)

CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Nº de calzos estabilizadores		N
	Disposición de los calzos		1)
	Forma de los calzos		1)
	Tamaño de los calzos		a x b 1)
	Dimensiones de la base soporte		S ₁ x S ₂ 1)
CARGA EN CALZO ESTABILIZADOR	CALZO ESTABILIZADOR 1	VERTICAL	Q _{v,212} V _{calzo 1}
		HORIZONTAL 2)	Q _{v,212} H _{calzo 1}
	CALZO ESTABILIZADOR 2	VERTICAL	Q _{v,212} V _{calzo 2}
		HORIZONTAL 2)	Q _{v,212} H _{calzo 2}
	CALZO ESTABILIZADOR 3	VERTICAL	Q _{v,212} V _{calzo 3}
		HORIZONTAL 2)	Q _{v,212} H _{calzo 3}
CALZO ESTABILIZADOR n	VERTICAL	Q _{v,212} V _{calzo n}	
	HORIZONTAL 2)	Q _{v,212} H _{calzo n}	
Notas			
1) La forma y disposición más común de los calzos estabilizadores es rectangular, aunque también pueden darse disposiciones triangulares y calzos de forma circular			
2) Las acciones horizontales en los calzos estabilizadores tienen la misma dirección que el viento actuante.			

Tabla 4.6.4.12. Formato para la descomposición de las cargas transmitidas por grúas móviles sobre neumáticos en función de los diferentes agentes actuantes, a suministrar por el fabricante

AGENTE	POSICIÓN DE LA PLUMA	POSICIÓN DE LA CARGA MANIPULADA	CARGAS POR CALZO ESTABILIZADOR									
			CALZO 1		CALZO 2		CALZO 3		CALZO 4			
			V	H	V	H	V	H	V	H		
A. Peso propio del equipo	Frontal centrada	—										
	Lateral centrada	—										
	En esquina	—										
B. Carga manipulada + efectos inerciales	Frontal centrada	Capacidad de carga/máximo alcance										
		Capacidad de carga/mínimo alcance										
	Lateral centrada	Capacidad de carga/máximo alcance										
		Capacidad de carga/mínimo alcance										
	En esquina	Capacidad de carga/máximo alcance										
		Capacidad de carga/mínimo alcance										
C. Viento límite de operatividad en dirección frontal 1)	Frontal centrada	—										
C. Viento límite de operatividad en dirección transversal 1)	Lateral centrada	—										
E. Viento límite de operatividad en dirección 45° 1)	En esquina	—										
Notas												
– Condiciones de operación (equipo en servicio): [A+B+C] (para cada una de las posiciones de la pluma y de la carga manipulada).												
1) Las componentes debidas al viento se obtendrán para una velocidad V ₀ . Conocidas las componentes debidas al viento asociadas con esta velocidad del viento pueden obtenerse las asociadas con cualquier otra velocidad V ₁ multiplicándolas por la relación (V ₁ /V ₀) ² .												

no restringida podrán definirse a través de valores nominales establecidos directamente por el Promotor cuando no esté en condiciones de explicitar en la fase de proyecto los equipos concretos o de valores representativos establecidos por criterios de explotación o bien por criterios ambientales, climáticos, legales o de seguridad existentes para la operatividad de los equipos previstos o de los buques de la flota esperable en el atraque

En el caso de que el Promotor fije directamente el valor nominal límite de dichas cargas deberá asociarlo a una velocidad y dirección del viento para poder combinar estas cargas con las producidas por los otros agentes de actuación simultánea y, también para poder asociar a las mismas una probabilidad de presentación en el emplazamiento necesaria para la verificación del nivel de operatividad de la instalación correspondiente al modo de parada operativa “realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado”. Cuando en una fase posterior se conozcan con detalle los equipos o éstos se adquieran por el explotador de la instalación de atraque deberá comprobarse que el valor representativo de las cargas transmitidas por los mismos en las condiciones de explotación que se establezcan, obtenido de acuerdo con la metodología definida en este apartado, no supera el valor nominal establecido. En caso contrario, deberán definirse nuevas condiciones límite de operatividad para dichos equipos más restrictivas con el objeto de garantizar esta condición. Lo mismo deberá realizarse si previamente a la entrada en servicio de la instalación de atraque o durante una fase de rehabilitación o readaptación de la misma a nuevas necesidades de la demanda se modifican los equipos previstos en la fase de proyecto.

Cuando estén definidos en la fase de proyecto los equipos de manipulación de movilidad no restringida, el valor representativo de las cargas transmitidas por los mismos se obtendrá como:

El valor más desfavorable para el modo de fallo analizado de las cargas que pueden ser transmitidas por los equipos en condiciones de servicio correspondientes a carga y descarga del buque, en las condiciones climáticas establecidas como límite para que dicho equipo pueda realizar dichas operaciones. Para el cálculo de estos valores, el valor representativo de la velocidad y dirección del viento deberá ser el correspondiente al estado de proyecto considerado, compatible con los valores representativos del resto de acciones climáticas que definen el estado meteorológico en dichas condiciones (Ver tabla 4.6.2.2), e idéntico al adoptado para la definición de los otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea que dependen del viento.

- Cuando el viento se adopte como el agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, bien por la paralización de las operaciones de la grúa por condiciones de seguridad bien por causar movimientos del buque incompatibles con la realización de las citadas operaciones, se considerará para la definición de las cargas el valor menor de la velocidad del viento de entre los que limitan estas operaciones. En ausencia de información específica del Promotor o del Fabricante, así como a falta de estudios detallados entre movimientos del buque atracado y viento, se adoptará como viento límite para la realización de estas operaciones aquél cuya velocidad media en el intervalo (ráfaga) de 3 s a 10 m de altura sea $24 \text{ m/s} \approx 86 \text{ km/h}$ (Ver tabla 3.2.1.3).
- Cuando otro agente distinto del viento se considere el predominante para la definición de estados límite en esta condición de trabajo (p.e. el oleaje que produce la agitación máxima que impide las operaciones de carga y descarga por producir movimientos del buque no compatibles con la realización de estas operaciones o los niveles de agua que impiden las operaciones de los equipos por rebases u otras causas) se adoptará la velocidad del viento simultáneo compatible con el valor de dicho agente en dicho estado meteorológico (Ver apartado 4.6.2.1. Agentes climáticos). Estos estados límites deberán analizarse por si pudieran ser más desfavorables para el modo de fallo analizado considerando todas las cargas actuantes en estas condiciones de trabajo, aunque sean más limitativos en lo que respecta a la velocidad del viento). A los efectos de las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida, únicamente se tomarán en consideración estas últimas situaciones si la velocidad del viento compatible

con las mismas no supera el valor umbral más limitativo establecido en aquellos casos en que se considera que el viento es el agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado.

Los órdenes de magnitud de los máximos movimientos horizontales y verticales de los buques admisibles para poder realizar las operaciones de carga y descarga por elevación se recogen en la tabla 4.6.4.22. A falta de estudios más precisos entre movimientos del buque atracado y agente climático actuante realizados de acuerdo con la metodología definida en el apartado 4.6.4.4.7.1.3. Cargas de amarre, epígrafes a_4 y b_2 , pueden adoptarse como valores del agente climático predominante que define el estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga por elevación del buque atracado los recogidos en la tabla 3.2.1.3.

En otras condiciones normales operativas de la instalación (p.e. operaciones de atraque o de permanencia del buque en el atraque) no se considerará la actuación de este agente.

- ◆ *En condiciones de trabajo extremas y en condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de viento de carácter extraordinario no se consideran cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida.*
- ◆ *En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea sismo o viento extraordinario, se considera únicamente que el equipo está en servicio cuando se produce un estado asociado a la presentación de dicha acción accidental.*

Cuando estén definidos en la fase de proyecto los equipos de manipulación de movilidad no restringida, en esta situación, el valor representativo de las cargas será su valor frecuente o su valor cuasi-permanente, en función de que el viento sea o no sea la acción climática predominante en el estado meteorológico considerado en estas condiciones. Estos valores se definirán como:

- Se adoptará como valor frecuente el más desfavorable para el modo de fallo analizado de las cargas que pueden ser transmitidas por el equipo en servicio, actuando el valor frecuente de la velocidad del viento (Ver tabla 4.6.2.2) y el cuasi-permanente de cargas en elevación y efectos inerciales asociados.
- Se adoptará como valor cuasi-permanente el más desfavorable para el modo de fallo analizado de las cargas que pueden ser transmitidas por el equipo en servicio actuando el valor cuasi-permanente de la velocidad del viento, de las cargas de elevación y de los efectos inerciales asociados. No obstante, cuando el viento sea dependiente del agente climático predominante en el estado meteorológico correspondiente a estas condiciones, se adoptará el valor de la velocidad del viento compatible con el valor representativo adoptado para el agente climático predominante (ver tabla 4.6.2.2).

La dirección adoptada para la velocidad del viento será la compatible con el resto de agentes climáticos que definen el estado meteorológico de proyecto en estas condiciones excepcionales y la misma que la adoptada para los otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en dicho estado que dependan del agente viento.

Cuando en la fase de proyecto no se hayan explicitado los equipos, habiéndose definido valores nominales para condiciones de operación, simplifícadamente en estas condiciones excepcionales podrán adoptarse valores reducidos de las componentes verticales que para el caso del valor frecuente serán iguales a 0,95 los correspondientes a dichos valores nominales y para el caso del valor cuasi-permanente el 0,90 de dichos valores. En ambos casos se considerará que las componentes horizontales de actuación simultánea son nulas.

- ◆ *En condiciones de trabajo excepcionales o extremas debidas a la presentación de una acción sísmica se considera que el equipo únicamente puede estar en servicio cuando se produce un estado*

sísmico en el emplazamiento. (Ver apartado 4.6.2.4). En esta situación, a los efectos de la verificación de la obra de atraque y amarre pueden desprejarse las acciones horizontales debidas al sismo asociadas a la masa de la grúa.

Cuando estén definidos en la fase de proyecto los equipos de manipulación de movilidad no restringida, en esta situación el valor representativo de las cargas será su valor cuasi-permanente, definido en el epígrafe de condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario.

Cuando en la fase de proyecto no se hayan explicitado los equipos, habiéndose definido valores nominales para condiciones normales de operación, simplificada en estas condiciones podrán adoptarse valores reducidos de las cargas verticales igual a 0,90 los correspondientes a los valores nominales. Así mismo se considerará que las componentes horizontales de actuación simultánea son nulas.

Los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos de movilidad no restringida cuando estén definidos en la fase de proyecto se resumen en la tabla 4.6.4.13.

En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados por los fabricante para los equipos de manipulación de movilidad no restringida previstos por el Promotor en función del tipo de mercancía y del tamaño y características de la flota previsible de buques en el atraque, podrán adoptarse como órdenes de magnitud indicativos de los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos de manipulación de movilidad no restringida actualmente considerados como tipo los consignados en la tabla 4.6.4.14 para grúas móviles.

◆ Cargas mínimas

Las grúas móviles son cada vez más utilizadas como equipos de manipulación de mercancías en obras de atraque y amarre en las que estén previstos sistemas discontinuos de carga-descarga de los buques por elevación, debido a la versatilidad de dichos equipos para los operadores portuarios que están asumiendo las inversiones en equipos de manipulación, a su rápida movilidad que permiten su utilización en diferentes obras de atraque y a que la evolución tecnológica de los mismos está permitiendo alcanzar mejores rendimientos en las operaciones portuarias realizadas con estos equipos, haciéndolos progresivamente más competitivos en relación con los equipos de manipulación de movilidad restringida, particularmente para algunos tráficos.

Por dichas razones, es recomendable que las obras de atraque y amarre accesibles al tráfico rodado en las que se prevea la carga-descarga de los buques por elevación mediante sistemas discontinuos se considere siempre la actuación de este tipo de equipos, aunque inicialmente no estén previstos por el promotor. Además, en previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación de las instalaciones durante la vida útil, es recomendable que se adopten como mínimo las siguientes cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida en las obras de atraque y amarre en función de los usos y de las características de los buques de proyecto:

- Para usos comerciales de graneles sólidos y mercancía general convencional ordinaria

En función de la manga del buque de manga máxima de la flota esperable en atraque, las cargas correspondientes a las grúas móviles incluidas en la tabla 4.6.4.14 tendrán la consideración de cargas mínimas en proyectos de obras de atraque y amarre para usos comerciales de graneles sólidos y mercancía general convencional ordinaria.

- Para usos comerciales de mercancía general convencional pesada, contenedores, ferris y multi-propósito, así como para usos industriales y militares
 - Para buques de la flota esperable en el atraque tipo Panamax, Post-Panamax y Super Post-Panamax, las cargas correspondientes a las grúas móviles incluidas en la tabla 4.6.4.14 tendrán

Tabla 4.6.4.13. Valores representativos de las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías de movilidad no restringida (Grúas móviles) para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos

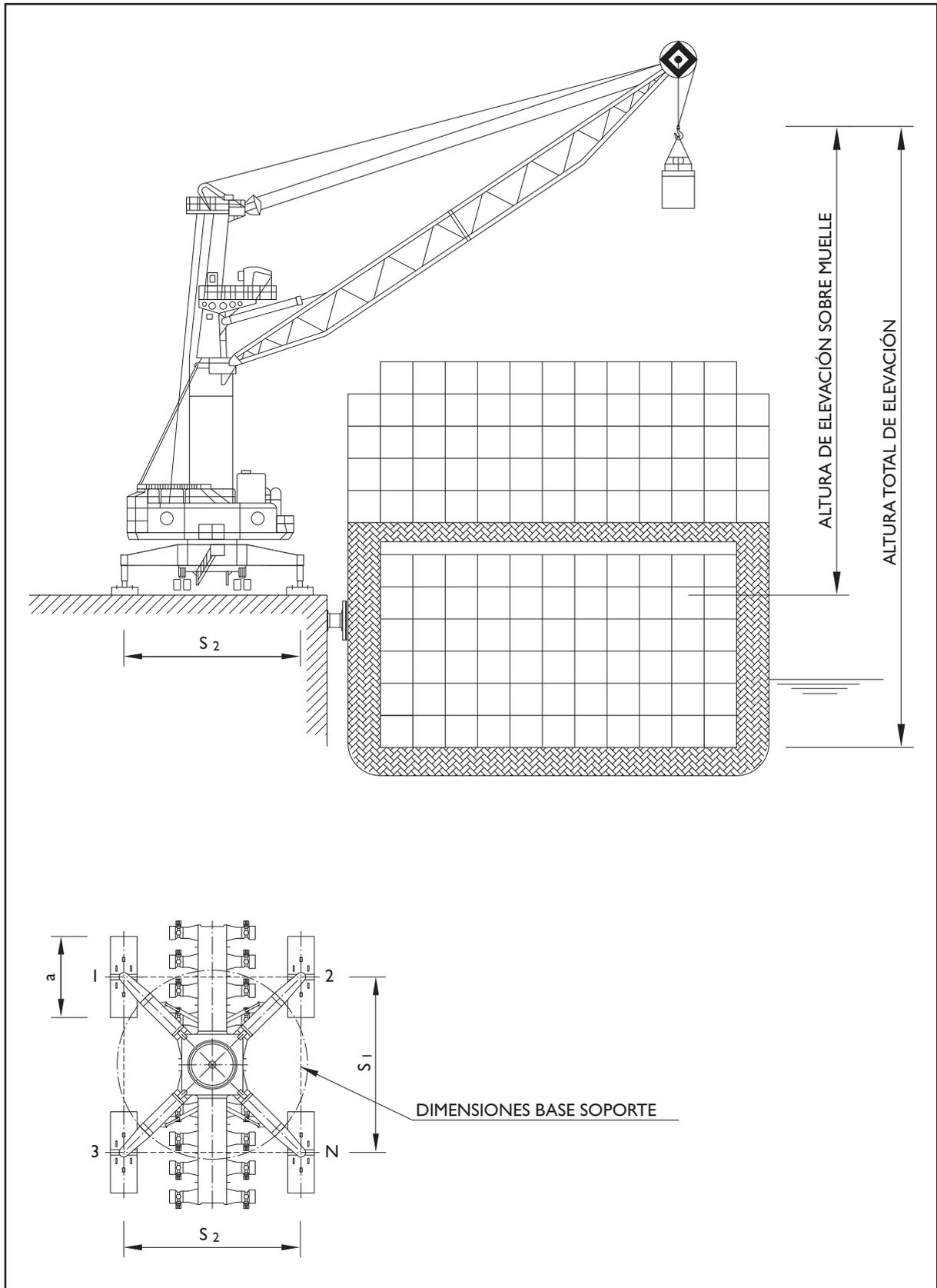
CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO ($q_{v,212k}$)	VALOR DE COMBINACIÓN ($\Psi_0 q_{v,212k}$)	VALOR FRECUENTE ($\Psi_1 q_{v,212k}$)	VALOR CUASI-PERMANENTE ($\Psi_2 q_{v,212k}$)
Condiciones de Trabajo Operativas correspondiente al estado límite de realización de las operaciones normales de carga y descarga con buque atracado (CT1,1)	Límites operativos establecidos para las operaciones de carga y descarga con buque atracado (carga más desfavorable transmitida por equipo en condiciones de servicio = [valores nominales de (peso propio+elevación de carga según alcance+efectos inerciales) + velocidad del viento límite de operatividad para realizar estas operaciones. En general $V_{v,3s} = 24$ m/s si el viento es el agente predominante considerado para la definición del estado límite ²⁾]			
Condiciones de Trabajo Extremas (CT2)	—	—	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario (CT3,1)	—	—	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea sismo o viento extraordinario ²⁾ (CT3,2)	Cargas más desfavorables transmitidas por el equipo en situación de servicio = valor nominal del peso propio + valor cuasipermanente de las cargas de elevación según alcance y efectos inerciales asociados (0,8 valores nominales) + velocidad del viento correspondiente a:			
	—	—	Probabilidad absoluta de no excedencia del 85% tomada del régimen medio	Probabilidad absoluta de no excedencia del 50% tomada del régimen medio
Condiciones de Trabajo Extremas o Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	Cargas más desfavorables transmitidas por el equipo en situación de servicio = valor nominal del peso propio + valor cuasipermanente de las cargas de elevación según alcance y efectos inerciales asociados (0,8 valores nominales) + velocidad del viento correspondiente a:			
	—	—	—	Probabilidad absoluta de no excedencia del 50% tomada del régimen medio ³⁾
Notas				
1) Si el agente predominante considerado para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga es otro agente climático u operativo (p.e. el oleaje que produce la agitación máxima compatible con las operaciones de carga y descarga) se adoptará la velocidad del viento compatible con el valor considerado para dicho agente (ver apartado 4.6.2.1).				
2) Se adoptará como valor representativo el valor frecuente cuando el viento sea el agente climático predominante para el modo de fallo analizado. En el caso de que el viento no fuera el agente climático predominante se adoptará el valor cuasi-permanente, salvo que el viento sea dependiente del agente climático predominante en cuyo caso se considerará para el viento el valor compatible con el adoptado para dicho agente. (Ver tabla 4.6.2.2)				
3) En el caso de que el viento no sea el agente climático predominante y sea dependiente de este último se considerará para el viento el valor compatible con el adoptado para el predominante (Ver tabla 4.6.2.2).				
4) El proyectista evaluará la incertidumbre estadística asociada a los datos disponibles con los que se ha estimado las funciones de distribución de la velocidad del viento. Salvo justificación detallada, para la obtención de los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos de manipulación se tomarán los valores superiores del intervalo de confianza del 90%.				

la consideración de cargas mínimas en proyectos de obras de atraque y amarre para usos comerciales de mercancía general convencional pesada, contenedores, ferris y multipropósito, así como para usos industriales y militares.

– Para buques de la flota esperable en el atraque tipo Feeder o Sub-Panamax, las cargas correspondientes a la grúa móvil 250/35 incluidas en dicha tabla tendrán la consideración de cargas mínimas, independientemente de la manga del máximo buque de proyecto.

- En obras de atraque y amarre *para el resto de usos*, independientemente del sistema de manipulación de mercancías previsto, las cargas transmitidas por la grúa móvil 100/25 incluidas en la tabla 4.6.4.14 tendrán la consideración de cargas mínimas, siempre que la obra de atraque sea accesible al tráfico rodado. En las obras de atraque y amarre no accesibles al tráfico rodado no se considerarán cargas mínimas transmitidas por equipos de manipulación de movilidad no restringida.

Tabla 4.6.4.14. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas portuarias móviles estándar ⁶⁾



Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas portuarias móviles estándar ⁶⁾ (continuación)

TIPO DE GRÚA MÓVIL							
Capacidad de carga bajo gancho (kN) con máximo alcance (m)	100/25	150/30	250/35	300/40	400/45	500/50	
Capacidad de carga (kN) bajo gancho con mínimo alcance (m)	350/6	400/8	600/8	850/10	1.000/10	1.500/11	
Tamaño buque máximo de proyecto ¹⁾	Feeder			Panamax	Post Panamax	Super Post Panamax	
Tonelaje (TPM)	< 10.000	10.000-15.000	15.000-25.000	25.000-50.000	50.000-100.000	> 100.000	
Manga del buque (m)	< 22,5	22,5-25	25-28,5	28,5-32,5	32,5-40	> 40	
CARACTERÍSTICAS GRÚA							
Max. altura elevación sobre muelle (m)	18-22	18-25	25-30	30-32	30-35	35-38	
Max. altura total de elevación (m)	30-33	33-35	40-45	45-47	45-50	50-53	
Peso (kN)	800-1.200	1.100-1.500	1.800-2.400	2.500-3.000	3.000-4.000	4.000-4.500	
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA							
Nº calzos estabilizadores (N)	4	4	4	4	4	4	
Disposición de los calzos	rectangular	rectangular	rectangular	rectangular	rectangular	rectangular	
Forma de los calzos	rectangular	rectangular	rectangular	rectangular	rectangular	rectangular	
Tamaño (a x b) de los calzos ²⁾							
Dimensiones ($S_1 \times S_2$) de la base soporte (m x m)	10 x 8	12 x 9	11 x 10	11 x 11	12 x 12	15 x 12	
MÁXIMA CARGA POR CALZO (KN) ^{3) 4)}							
En condiciones de operación ⁵⁾	Vertical	550	750	1.200	1.500	2.000	2.500
	Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert
Notas							
<p>– Cuando, de acuerdo con lo previsto en esta Recomendación, se adopten los valores consignados en esta tabla para la definición de cargas mínimas, en aquellos parámetros que se incluya un rango de valores se utilizará a estos efectos el valor medio.</p> <p>1) El tipo de grúa que se recomienda en función del buque de manga máxima de la flota esperable en el atraque debe tomarse como especialmente indicada para obras de atraque y amarre de usos comerciales para graneles sólidos y mercancía general convencional ordinaria. Para obras de atraque multipropósito, ferris, carga convencional pesada y contenedores debe tomarse en consideración adicionalmente el peso unitario de las mercancías a manipular, por lo que es conveniente la utilización como mínimo de grúas móviles 250/35 para estos usos, independientemente de la manga del buque de manga máxima de la flota esperable en el atraque. Para el resto de usos, siempre que el tráfico rodado sea accesible a la instalación, es conveniente la utilización como mínimo de grúas móviles 100/25 en previsión de que pueda ser necesario utilizar una grúa móvil por cualquier causa (p.e. para el montaje, desmontaje o reparación de un brazo articulado de carga/descarga de graneles líquidos, la reparación de un buque pesquero o deportivo, etc.).</p> <p>2) No se incluyen tamaños tipo de calzos estabilizadores ya que éstos pueden ser muy variables en función del fabricante del equipo, adaptándose en general a los requerimientos del Promotor. A falta de datos más precisos pueden considerarse como usuales presiones del orden de 1.000 kN/m^2.</p> <p>3) Las cargas máximas por calzo estabilizador consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud para cada tipo de grúa, habiéndose obtenido del análisis de las correspondientes a diferentes fabricantes. Dependiendo del fabricante y de la configuración geométrica, las variaciones pueden ser significativas por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si esto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse por este tipo de equipos, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación.</p> <p>4) Del lado de la seguridad, puede considerarse que las cargas verticales sobre cada uno de los calzos estabilizadores puede inferirse a partir de la máxima carga por calzo, considerando que ésta actúa simultáneamente sobre dos calzos situados en un mismo lado del equipo, actuando sobre cada uno de los dos restantes las cargas resultantes de considerar que la suma de todas las cargas debe igualar a la suma de todas las cargas actuantes (peso propio + máxima carga izada + efectos inerciales). Los efectos inerciales pueden estimarse como el 15% de la máxima carga izada. La carga horizontal en cada calzo será el 5% de la máxima carga vertical, en la dirección de actuación del viento. En estos equipos puede considerarse que no es relevante la componente de la acción horizontal debida al viento.</p> <p>5) Considerando una velocidad de viento en el emplazamiento $V_{v,3s}(10 \text{ m}) = 24 \text{ m/s}$ ($\approx 86 \text{ km/h}$) en la dirección más desfavorable, incluyendo los efectos inerciales asociados al movimiento de la carga manipulada.</p> <p>6) Puede considerarse suficientemente aproximado adoptar como valores frecuente y cuasi-permanente de las cargas transmitidas por las grúas móviles los valores reducidos de las componentes verticales que para el caso del valor frecuente serán iguales a 0,95 los correspondientes a dichos valores nominales y para el caso del valor cuasi-permanente el 0,90 de dichos valores. En ambos casos se considerará que las componentes horizontales de actuación simultánea son nulas.</p>							

El resumen de las cargas mínimas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías de movilidad no restringida a adoptar en las áreas de operación de obras de atraque y amarre en las que estén previstos sistemas de carga y descarga del buque mediante sistemas discontinuos por elevación se incluye en la tabla 4.6.4.23.

a₂) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación en cada condición de trabajo sea la combinación poco probable o fundamental será de aplicación lo dispuesto en el epígrafe a₁) de este apartado para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos. Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable sea la combinación frecuente o cuasi-permanente (ver apartado 4.1.1.2) se adoptarán como valores representativos de las cargas transmitidas por equipos de manipulación de movilidad no restringida los valores frecuentes y cuasi-permanentes definidos en el epígrafe anterior.

a₃) Para la verificación de modos de parada operativa

El agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de operaciones de carga y descarga con buque atracado es el agente “manipulación de mercancías mediante sistemas discontinuos por elevación con equipos (grúas móviles) de movilidad no restringida ($q_{v,212}$)” cuando la operativa de carga y descarga del buque se realiza mediante este tipo de equipos.

A los efectos de verificar este modo de parada operativa se considerará de aplicación lo dispuesto a estos efectos en el epígrafe a₃ del apartado 4.6.4.2.1.1.1. Cargas transmitidas por equipos fijos y de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación.

b) Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilistas es admisible considerar simplificada que las cargas más desfavorables para el modo de fallo analizado transmitidas por equipos de movilidad no restringida durante el ciclo de solicitud correspondiente a condiciones de trabajo operativas (realización de operaciones de carga y descarga) se comportan como deterministas cuando se definen directamente valores nominales límite de las mismas.

Cuando se definen límites de operatividad del equipo u otras condiciones de operatividad asociados a la velocidad del viento, se considerará, para cada configuración del equipo, posición de la carga y dirección del viento, que las componentes debidas al viento que se introducen en la relación funcional que relaciona en cada equipo las cargas transmitidas con los agentes causantes se derivan del régimen medio anual de la velocidad del viento, truncado por dicho umbral de operatividad. En los casos que se considere que la variable que define el ciclo de solicitud correspondiente a éstas u otras condiciones operativas no sea el viento, se considerará que la componente debida al viento de las cargas transmitidas por los equipos, para cada configuración de los mismos, posición de la carga y dirección del viento se define a través de una función de distribución derivada de la función de distribución de la variable velocidad del viento condicionada al valor límite de operatividad de la variable climática que determina la operatividad de la instalación, siempre que puedan considerarse correlacionadas, y truncada, en su caso, en el límite de operatividad establecido para el viento por los fabricantes de los equipos o por el resto de causas de paralización de las operaciones. En el caso de que el viento se considere independiente del agente que condiciona las operaciones de carga y descarga u otras condiciones de operatividad, la función de distribución de la componente de las cargas debidas al viento se derivará del régimen medio de la velocidad del viento en el emplazamiento, truncado, en su caso, por el lími-

te de operatividad establecido para el mismo (ver apartado 4.6.2.1.b. Definición de los agentes climáticos para formulaciones probabilistas).

Para los ciclos de solicitación correspondientes a condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental, así como a condiciones excepcionales o extremas debidas a la presentación de una acción sísmica, las funciones de distribución de las componentes debidas al viento de las cargas transmitidas por los equipos se derivarán de los regímenes medios marginales de la velocidad del viento (ver apartado 4.6.1.1.b), salvo en aquellos casos en los que la acción accidental está asociada a un determinado estado meteorológico y correlacionada con el viento. En este caso, las componentes debidas al viento de las cargas transmitidas por los equipos se derivarán de la función de distribución de la velocidad del viento condicionada al valor de la variable climática que define el estado meteorológico.

En ambos casos se considerará que las componentes debidas al peso propio del equipo que se introducen en la relación funcional que relaciona en cada equipo las cargas transmitidas con los agentes causantes se definen considerando su valor nominal y que las componentes debidas al peso y movimiento de la carga manipulada se definen considerando que la función de distribución del peso de la carga manipulada es una normal de media el 80% del valor nominal y coeficiente de variación 0,15.

En el caso de que se apliquen las cargas máximas incluidas en la tabla 4.6.4.14 correspondientes a grúas móviles estándar podrán considerarse como valores nominales de los límites operativos establecidos por criterios de explotación del equipo y por tanto, simplificada, carentes de incertidumbre estadística durante la fase de servicio, siempre que sea el viento el agente que determine la operatividad de la instalación para las operaciones de carga y descarga.

Para la verificación probabilista del modo de parada correspondiente a la paralización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado será de aplicación lo dispuesto a estos efectos en el epígrafe b) del apartado 4.6.4.2.1.1.1 para los equipos de manipulación fijos y de movilidad restringida.

4.6.4.2.1.1.3. Cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, utilizados para el transporte horizontal y depósito ($q_{v,213}$)

Los equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito son los necesarios para los traslados de las mercancías desde las zonas de almacenamiento y estacionamiento o desde los modos de transporte terrestre hasta el costado del buque o el área de operación, en los casos de carga del buque por elevación, o desde el costado del buque o el área de operación hasta su lugar de almacenamiento y estacionamiento o hasta los modos de transporte terrestre en los casos de descarga del buque por idéntico sistema. En general, estas operaciones de transporte horizontal de las mercancías suelen hacerse por medio de los siguientes tipos de equipos sobre neumáticos, de movilidad no restringida, seleccionados por el Promotor en función de las condiciones y criterios de explotación establecidos para la instalación, tomando en consideración las características de las mercancías a manipular, así como las condiciones de almacenamiento o estacionamiento adoptados para las mismas (altura de almacenamiento, anchura de pasillos de apilamiento, sistema de manipulación en áreas de almacenamiento, grado de automatización, ...):

- ◆ Carretillas elevadoras frontales (forklift truck) o de carga lateral (side loader).⁽³⁶⁾
- ◆ Apiladores de alcance (reach stackers/log stackers/...).⁽³⁷⁾
- ◆ Carretillas puente o pórtico (straddle carriers) o lanzadera (shuttle carriers).
- ◆ Unidades tractor-semiremolque (tractor-semitrailer) y sistemas multiplataforma (multi-trailer systems [MTS]).

(36) La terminología inglesa denomina forklift trucks o side loaders a las carretillas elevadoras de carga frontal o lateral respectivamente, independientemente del dispositivo o sistema de manipulación de las cargas que incorporen (horquillas, spreader, eslingas, etc.)

(37) La terminología inglesa distingue la denominación en función de los distintos dispositivos o sistemas de manipulación de las cargas que pueden incorporar las apiladoras de alcance: reach stackers para la manipulación de contenedores bajo spreader, log stacker para la manipulación de cargas fraccionadas como maderas o graneles mediante distintos tipo de abrazaderas, eslingas,...

- ◆ Camiones volquetes (dumpers).
- ◆ Vehículos automáticos autoguiados (AGV).
- ◆ Otros específicos: por ejemplo, manipuladores de bobinas (steel coil handlers), etc....

La utilización de cada uno de estos tipos no es excluyente. En la práctica, en función del tipo de los usos de la obra de atraque y amarre y de las condiciones de almacenamiento o estacionamiento pueden preverse sistemas de transporte horizontal formado por mezcla de los anteriormente expuestos. Además es previsible su variación a lo largo de la vida útil de la instalación.

Las cargas a tomar en consideración transmitidas por estos equipos son debidas fundamentalmente a las acciones y presiones verticales y a las acciones horizontales que se producen en las distintas ruedas de las que dispone el equipo en condiciones de equipo cargado. No se consideran las cargas transmitidas por los equipos en la situación de despliegue de calzos o plataformas de apoyo, ya que puede considerarse que la carga-descarga con este sistema no es compatible con los rendimientos exigibles para las áreas de operación, estando además cubiertas por las cargas mínimas correspondientes a grúas móviles exigidas por esta Recomendación.

Dichas cargas están asociadas fundamentalmente con los siguientes factores:

- ◆ Configuración geométrica del equipo, particularmente en lo que se refiere a la separación entre ejes, número y separación entre centros de las ruedas en cada eje, así como tamaño de las mismas y del área de contacto asociada.
- ◆ Peso propio del equipo.
- ◆ Capacidad de carga.
- ◆ Efectos inerciales asociados con el movimiento del equipo y con la elevación de la carga (impacto, tracción, frenada,...).
- ◆ Los efectos de los agentes del medio físico pueden considerarse como no significativos.

Los parámetros que definen a este agente para cada uno de los tipos de equipos auxiliares de transporte horizontal más comunes se incluyen en la tabla 4.6.4.15. La distribución espacial de las cargas transmitidas por cada equipo se considerará libre, limitada, en su caso, únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la instalación. Para cada estado de proyecto, se adoptará la posición de las ruedas y la distribución de cargas entre cada una de ellas correspondiente a la configuración del equipo y posición de la carga que produzca el efecto más desfavorable para el modo de fallo analizado.

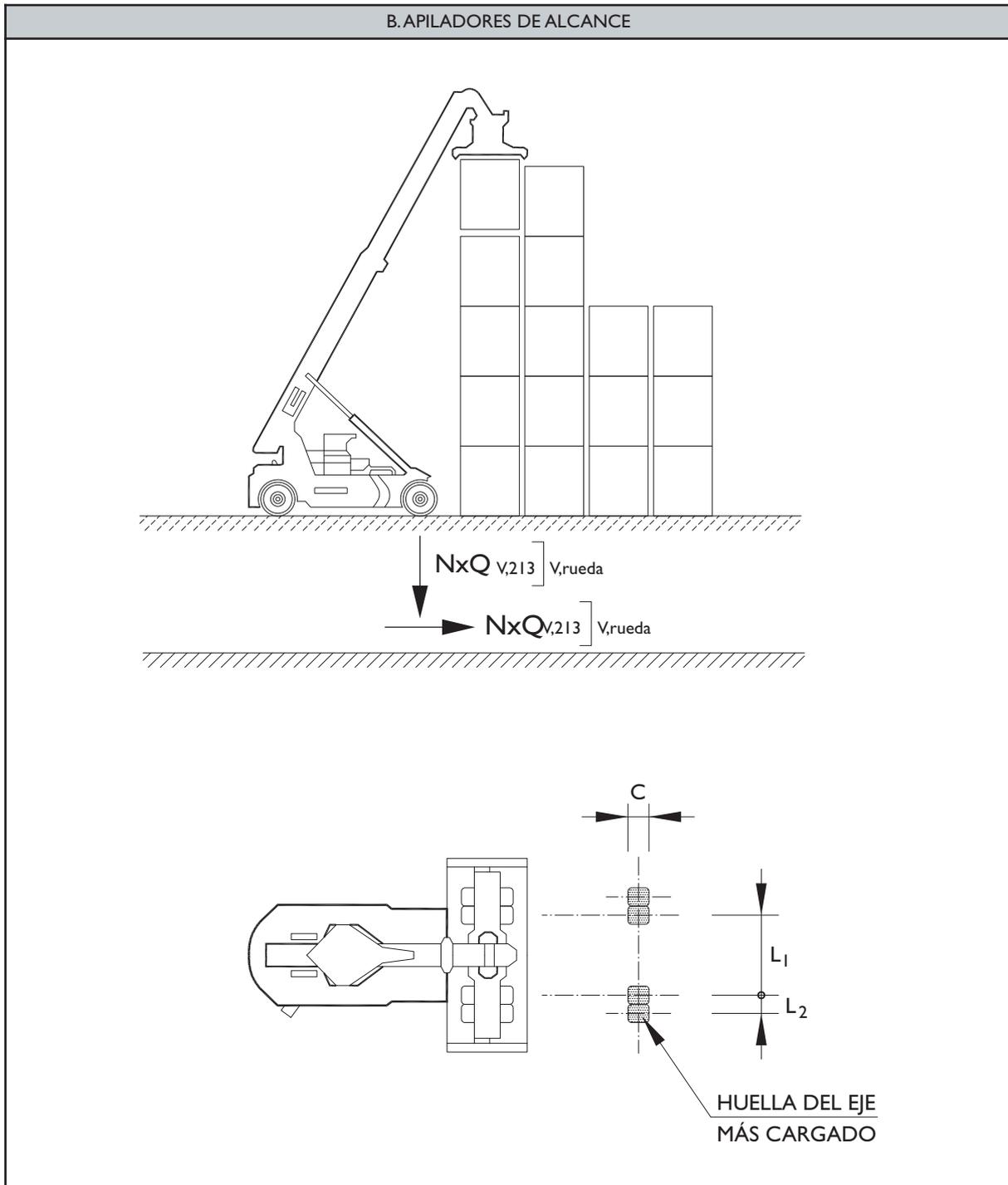
A los efectos de la verificación de modos de fallo globales y locales, en general será suficiente adoptar las cargas verticales correspondientes al eje simple o, en su caso tándem, más cargado correspondientes a un único equipo, considerando todas las configuraciones del equipo, carga y viento compatibles con el estado de proyecto analizado, conjuntamente con las cargas horizontales compatibles con las mismas. No será necesaria la consideración de este agente para la verificación de modos de fallo globales en aquellos casos en los que la sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento considerada en el emplazamiento sea mayor o igual que la sobrecarga uniforme equivalente a dichos equipos. Las cargas debidas a las carretillas elevadoras de carga lateral, a las carretillas puente, pórtico o lanzadera y a los sistemas tractor/plataformas, así como las debidas a las carretillas elevadoras frontales y a los apiladores de alcance con capacidad de elevación menor o igual a 150 kN se consideran cubiertas por las debidas al tráfico terrestre viario cuando éstas se consideren; es decir, en aquellas áreas abiertas o accesibles a este tipo de tráfico (Ver apartado 4.6.4.3.1 correspondiente a tráfico viario).

Al igual que las cargas transmitidas por los equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación, las cargas transmitidas por los equipos auxiliares de transporte horizontal de movilidad no restringida se considerarán únicamente en los estados de proyecto representativos de los ciclos de solicitud asociados a la normal explotación de la instalación de atraque (condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga del buque), así como en los estados sísmicos y en los estados asociados a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario (condiciones de trabajo excepcionales), ya que cuando no está operando o se presentan condiciones de temporal (condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a viento extraordinario) se considera que el equipo está fuera de servicio, estacionándose en áreas alejadas de la obra de atraque y amarre. Las cargas transmitidas por

Tabla 4.6.4.15. Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, utilizados para el transporte horizontal y depósito

A. CARRETILLAS ELEVADORAS FRONTALES			
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL EJE MÁS CARGADO	Nº de ruedas		N
	Posición de las ruedas	Separación entre centros de ruedas internas	L_1
		Separación entre centros de ruedas externa e interna	L_2
	Forma y dimensiones de las áreas de contacto		cuadrada de lado c
CARGA POR RUEDA EN EJE MÁS CARGADO	VERTICAL		$Q_{v,213} V, Rueda$
	HORIZONTAL		$Q_{v,213} H, Rueda$

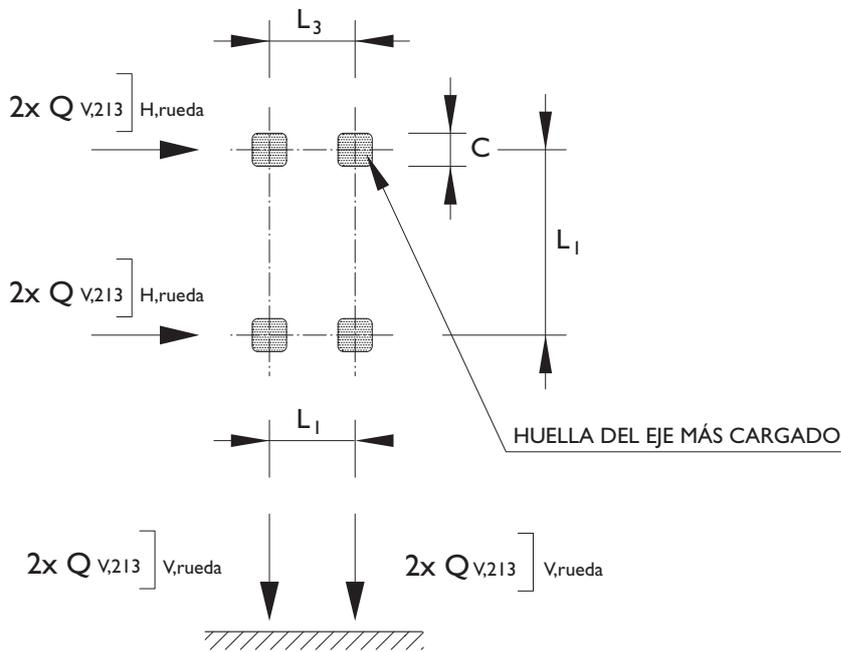
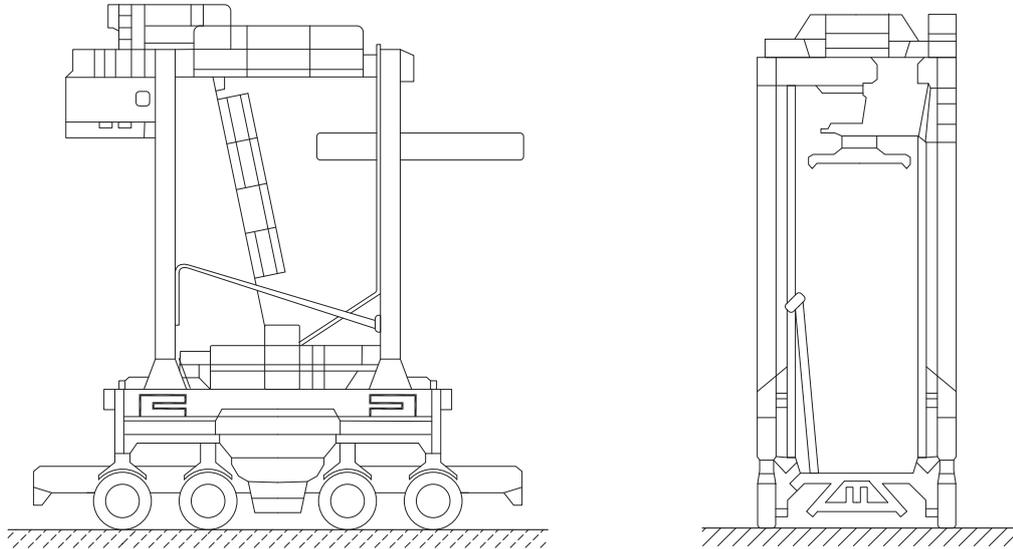
Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, utilizados para el transporte horizontal y depósito (continuación)



CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL EJE MÁS CARGADO	Nº de ruedas	N	
	Posición de las ruedas	Separación entre centros de ruedas internas	L_1
		Separación entre centros de ruedas externa e interna	L_2
	Forma y dimensiones de las áreas de contacto	cuadrada de lado c	
CARGA POR RUEDA EN EJE MÁS CARGADO	VERTICAL	$Q_{v,213} _{V,Rueda}$	
	HORIZONTAL	$Q_{v,213} _{H,Rueda}$	

Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, utilizados para el transporte horizontal y depósito (continuación)

C. CARRETILLAS PUENTE, PÓRTICO O LANZADERA



CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL EJE MÁS CARGADO	Tipo de sistemas de ejes		Simple o tándem
	Posición de las ruedas	Separación entre centros de ruedas internas	L_1
		Separación entre centros de ruedas en tándem	L_3
	Forma y dimensiones de las áreas de contacto		cuadrada de lado c
CARGA POR RUEDA EN EJE MÁS CARGADO	VERTICAL		$Q_{V,213} _{V,Rueda}$
	HORIZONTAL		$Q_{V,213} _{H,Rueda}$

Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, utilizados para el transporte horizontal y depósito (continuación)

D. UNIDADES TRACTOR-SEMIREMOLQUE Y SISTEMAS MULTIPLATAFORMA				
<p>The diagram illustrates a tractor-trailer unit. The top view shows the tractor and trailer with a grid of wheels. Dimensions are defined as follows: L_1 is the distance between the centers of the two wheels on the same axle; L_2 is the distance between the center of an axle and the center of the tandem axle; L_3 is the distance between the centers of the two tandem axles; C is the width of the contact area. The load formulas are: $\frac{N}{2} \times Q_{v,213}$ V,rueda (vertical load per wheel), $\frac{N}{2} \times Q_{v,213}$ V,rueda (vertical load per axle), and $\frac{N}{2} \times Q_{h,213}$ H,rueda (horizontal load per wheel). The most heavily loaded axle is indicated by an arrow.</p>				
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL EJE MÁS CARGADO	Tipo de sistema de ejes		Simple o tándem	
	Nº de ruedas		N	
	Posición de las ruedas	Separación entre centros de ruedas internas		L_1
		Separación entre centros de ruedas externa e interna		L_2
Separación entre centros de ruedas en tándem		L_3		
Forma y dimensiones de las áreas de contacto		cuadrada de lado c		
CARGA POR RUEDA EN EJE MÁS CARGADO	VERTICAL	$Q_{v,213} _{V,Rueda}$		
	HORIZONTAL	$Q_{h,213} _{H,Rueda}$		

cada uno de los equipos en estas condiciones se considerarán cargas compuestas, obteniéndose a partir de la combinación de las acciones simultáneas y compatibles que actúan sobre los equipos en dichos estados; es decir, las debidas al peso propio del equipo y a la carga manipulada (incluyendo los efectos inerciales asociados con el movimiento del equipo y de la carga), tomando en consideración, en su caso, las diferentes posiciones de la carga manipulada. Para ello, el fabricante del equipo deberá suministrar las cargas verticales y horizontales transmitidas por cada agente, actuando aisladamente, sobre el eje más cargado, considerando para cada una de ellas, en el caso de que sea relevante (p.e. para los apiladores de alcance), las combinaciones máxima capacidad de carga/alcance. En este sentido es recomendable solicitar estos datos al fabricante de los equipos auxiliares, diferenciando los debi-

dos al peso propio del equipo de los debidos a la carga manipulada, de forma que sea posible definir los valores representativos y, en su caso, las funciones de distribución asociados con dichas cargas.

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las cargas transmitidas por los equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, de transporte horizontal y depósito se definirán:

a) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas

a₁) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos

- ◆ *Para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de transporte horizontal y depósito, las cargas transmitidas por los equipos podrán definirse a través de valores nominales establecidos directamente por el Promotor cuando no esté en condiciones de explicitar en la fase de proyecto los equipos concretos o de valores representativos establecidos por criterios de explotación o bien por criterios ambientales, climáticos, legales o de seguridad existentes para la operatividad de los equipos previstos o de los buques de la flota esperable en el atraque.*

En el caso de que el Promotor fije directamente el valor nominal límite de dichas cargas, no será necesario asociarlo a una velocidad y dirección del viento ya que se considera que en este tipo de equipos los efectos de los agentes del medio físico no son significativos para las cargas transmitidas. No obstante lo anterior, puede considerarse que estos valores nominales están asociados, como máximo, con la velocidad del viento límite para la cual este tipo de equipos pueden realizar las operaciones de transporte horizontal y depósito en condiciones seguras [generalmente una velocidad media en el intervalo (ráfaga) de 3 s a 10 m de altura de 24 m/s (\approx 86 km/h)].

Cuando en una fase posterior se conozcan con detalle los equipos o éstos se adquieran por el explotador de la instalación de atraque, deberá comprobarse que el valor representativo de las cargas transmitidas por los mismos, obtenido de acuerdo con la metodología definida en este apartado, no supera el valor nominal establecido. En caso contrario, deberán definirse condiciones de explotación de los mismos más restrictivas con el objeto de garantizar esta condición (p.e. limitar el peso máximo de la mercancía manipulada o, en algún tipo de equipos, el alcance). Lo mismo deberá realizarse si previamente a la entrada en servicio de la instalación de atraque o durante una fase de rehabilitación o readaptación de la misma a nuevas necesidades de la demanda se modifican los equipos previstos en la fase de proyecto.

Cuando estén definidos en la fase de proyecto los equipos auxiliares para transporte horizontal y depósito de movilidad no restringida, el valor representativo de las cargas transmitidas por los mismos se obtendrá como:

- El valor más desfavorable para el modo de fallo analizado de las cargas que pueden ser transmitidas por dichos equipos en condiciones de servicio y en situación de rodadura, en las condiciones climáticas establecidas como límite para que dichos equipos puedan realizar las operaciones de transporte horizontal y depósito. Únicamente a estos efectos y con el objeto de simplificar los estados operativos a verificar, las condiciones climáticas límite establecidas para las operaciones de transporte horizontal y depósito en áreas de operación se considerarán las mismas que para las operaciones de carga y descarga con buque atracado mediante equipos con capacidad de carga y descarga del buque por elevación (Ver apartados 4.6.4.2.1.1.1 y 4.6.4.2.1.1.2), dada la poca relevancia que tienen los efectos del viento en las cargas transmitidas por los equipos de transporte y depósito debido al tamaño, características y condiciones de operación de los mismos. No obstante, en el caso de que los fabricantes de los equipos auxiliares de transporte y depósito establecieran por criterios de seguridad condiciones climáticas de operación mucho más restrictivas que las resultantes

para los equipos de carga y descarga del buque por elevación, se consideraría que esas también limitan la realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado.

Simplificadamente, en otras condiciones operativas de la instalación (p.e. operaciones de atraque o de permanencia del buque en el atraque) no se considerará la actuación de este agente.

- ◆ *En condiciones de trabajo extremas y en condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación del agente climático viento de carácter extraordinario* no se considerarán cargas transmitidas por equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito de movilidad no restringida.
- ◆ *En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario y en condiciones excepcionales o extremas debidas a la presentación de una acción sísmica*, se considera únicamente la situación de equipo en servicio cuando se produce el estado asociado a la presentación de la acción accidental o sísmica.

Cuando estén definidos en la fase de proyecto los equipos auxiliares de manipulación y depósito, en esta situación el valor representativo de las cargas será su valor cuasi-permanente, que se definirá como:

- El valor más desfavorable para el modo de fallo analizado de las cargas que pueden ser transmitidas por el equipo en servicio actuando el valor cuasi-permanente de las cargas de elevación y de los efectos inerciales asociados (Ver tabla 4.6.4.10). Dado que las acciones debidas al viento son poco significativas en relación con las componentes debidas a los otros agentes por causa del tamaño, características y condiciones de operación de estos equipos, simplificadamente en esta situación es aceptable no tomar en consideración la componente debida al viento. En la situación sísmica, a los efectos de la verificación de la obra de atraque y amarre pueden despreciarse las acciones horizontales debidas al sismo asociadas a la masa del equipo auxiliar.

Cuando en la fase de proyecto no se hayan explicitado los equipos concretos, habiéndose definido valores nominales para condiciones de trabajo normales de operación, simplificadamente en estas condiciones de trabajo excepcionales podrán adoptarse valores reducidos de las componentes verticales iguales a 0,90 los correspondientes a dichos valores nominales si las condiciones de explotación de la instalación prevén que los equipos auxiliares sean del tipo carretilla frontal, apilador de alcance o carretilla puente, pórtico o lanzadera. Cuando prevean que los equipos auxiliares sean unidades tractor-remolque o sistemas multiplataforma se adoptarán valores reducidos igual a 0,80 los correspondientes a los valores nominales⁽³⁸⁾. Si en la fase de proyecto se desconocen completamente los tipos de equipos auxiliares se adoptará, del lado de la seguridad, el coeficiente 0,90. En estos casos podrá considerarse que las componentes horizontales de actuación simultánea son nulas.

Los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito cuando estén definidos en la fase de proyecto se resumen en la tabla 4.6.4.16.

En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados por el fabricante para los equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito de movilidad no restringida previstos por el Promotor en función de las condiciones y criterios de explotación de la instalación adoptados, podrán adoptarse como órdenes de magnitud indicativos de los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos portuarios auxiliares considerados actualmente como estándar los consignados en la tabla 4.6.4.17, los cuales incluyen la amplificación dinámica y los efectos inerciales debidos a la traslación, frenada, etc.

(38) En situación equivalente, cuando en sistemas discontinuos de manipulación de mercancías por medios rodantes se prevean unidades tractor-plataforma rodantes (Ver apartado 4.6.4.2.1.2.1), se aplicará un coeficiente 0,9 a los valores nominales de las cargas transmitidas por la unidad tractora y 0,8 a los valores nominales de las cargas transmitidas por la plataforma rodante.

Tabla 4.6.4.16. Valores representativos de las cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos de transporte horizontal y depósito, de movilidad no restringida (Para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos) ¹⁾

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO ($q_{v,213k}$)	VALOR DE COMBINACIÓN ($\Psi_0 q_{v,213k}$)	VALOR FRECUENTE ($\Psi_1 q_{v,213k}$)	VALOR CUASI-PERMANENTE ($\Psi_2 q_{v,213k}$)
Condiciones de Trabajo Operativas correspondiente al estado límite de realización de las operaciones de transporte horizontal y depósito (CT1) ²⁾	Límites operativos establecidos para las operaciones de transporte horizontal y depósito ³⁾ (carga más desfavorable transmitida por equipo en condiciones de servicio = [valores nominales de (peso propio + elevación de carga según alcance+efectos inerciales) + velocidad del viento límite de operatividad para realizar estas operaciones. En general $V_{v,3s} = 24 \text{ m/s}$ si el viento es el agente predominante considerado para la definición del estado límite ⁴⁾]			
Condiciones de Trabajo Extremas (CT2)	—	—	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario (CT3,1)	—	—	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario (CT3,2) y condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	Cargas más desfavorables transmitidas por el equipo en situación de servicio = valor nominal del peso propio + valor cuasipermanente de las cargas de elevación según alcance y efectos inerciales asociados correspondiente a:			
	—	—	—	0,80 las cargas nominales de elevación según alcance
Notas				
1) Esta tabla también es de aplicación a los equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes (Ver apartado 4.6.4.2.1.2.1).				
2) Con el objeto de simplificar los estados operativos a considerar, con carácter general esta condición se considera que es la misma que la de carga y descarga del buque.				
3) Simplificadamente, las condiciones climáticas límite establecidas para las operaciones de transporte horizontal y depósito en áreas de operación se considerarán las mismas que las de las operaciones de carga y descarga con buque atracado. En el caso de que los fabricantes de los equipos de transporte y depósito establecieran por criterios de seguridad condiciones climáticas de operación para los mismos mucho más restrictivas que las resultantes para los equipos de carga y descarga del buque por elevación, se consideraría que éstas también limitan la realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado.				
4) Si el agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga es otro agente climático (p.e. el oleaje que produce la agitación máxima compatible con las operaciones de carga y descarga) se adoptará la velocidad del viento compatible con el valor adoptado para dicho agente.				

◆ **Cargas mínimas**

En previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación de la obra de atraque y amarre durante su vida útil o de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, es recomendable que se adopten como mínimo las siguientes cargas transmitidas por equipos portuarios auxiliares de movilidad no restringida en las áreas de operación de obras de atraque y amarre en las que estén previstos sistemas de carga y descarga del buque mediante sistemas discontinuos por elevación, aunque la utilización de dichos equipos auxiliares no esté inicialmente prevista o detallada por el Promotor:

- Para usos comerciales de mercancía general convencional ordinaria

Las cargas correspondientes a las carretillas elevadoras frontales con capacidad de elevación de carga de 200 kN incluidas en la tabla 4.6.4.17.

- Para usos comerciales de mercancía general convencional pesada, ro-ro, ferris y multipropósito, así como para los usos industrial y militar

Las cargas correspondientes a las carretillas elevadoras frontales con capacidad de elevación de carga de 300 kN incluidas en la tabla 4.6.4.17.

- Para usos comerciales de contenedores

Las cargas correspondientes a los apiladores de alcance del tipo 450/300/150 incluidas en la tabla 4.6.4.17.

En obras de atraque y amarre *para el resto de usos* no se considerarán cargas mínimas debidas a equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito siempre que el área de operación de la obra de atraque sea accesible a tráfico rodado viario ya que, en estos casos, las cargas mínimas debidas a equipos auxiliares pueden considerarse cubiertas por las cargas debidas al tráfico viario terrestre.

En las obras de atraque y amarre no accesibles al tráfico rodado viario tampoco se considerarán cargas mínimas transmitidas por equipos auxiliares, lo que no significa que el Promotor no pueda considerar la actuación de equipos auxiliares de transporte y depósito en función de las condiciones de explotación definidas para la instalación.

El resumen de las cargas mínimas transmitidas por equipos auxiliares de transporte y depósito de movilidad no restringida a adoptar en las áreas de operación de obras de atraque y amarre en las que esté prevista la carga y descarga del buque mediante sistemas discontinuos por elevación se incluye en la tabla 4.6.4.23.

a₂) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación en cada condición de trabajo sea la combinación poco probable o fundamental será de aplicación lo dispuesto en el epígrafe <a₁> de este apartado para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos. Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable sea la combinación frecuente o cuasi-permanente (ver apartado 4.1.1.2) se adoptarán como valores representativos de las cargas transmitidas por equipos de manipulación de movilidad no restringida el valor cuasi-permanente definido en el epígrafe anterior.

Tabla 4.6.4.17. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por equipos portuarios auxiliares estándar de transporte y depósito de movilidad no restringida ¹³⁾

A. CARRETILLAS ELEVADORAS FRONTALES								
TIPO DE CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL ¹⁾								
Capacidad de elevación de carga (kN)		100 ²⁾	150	200	300	400	500	
Características del equipo	Max. altura elevación sobre muelle (m)	4,0-18,0	4,0	4,0	5,0-10,0	5,0-10,0	5,0-10,0	
	Peso (kN)	150-400	200	300	400-600	500-700	600-750	
Configuración geométrica del eje más cargados	Nº ruedas (N)	4	4	4	4	4	4	
	Separación (L_1) centros ruedas int (m)	1,50-2,60	1,60	1,80	2,20-2,50	2,40-2,70	2,60-2,70	
	Separación (L_2) centros ruedas ex/in (m)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,60	0,60	
	Dimensiones (cxc) área contacto (m x m)	³⁾	³⁾	³⁾	³⁾	³⁾	³⁾	
Máxima carga por rueda en el eje más cargado (kN) ⁴⁾	Sin operación	Vertical	30-70	40	60	80-90	90-100	110-120
	En condiciones de operación ⁵⁾	Vertical	50-80	65	110	180	240	300
		Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert				
Carga vertical uniforme equivalente (kN/m ²)			20	23	25	30	35	40

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por equipos portuarios auxiliares estándar de transporte y depósito de movilidad no restringida ¹³⁾ (continuación)

B. APILADORES DE ALCANCE								
TIPO DE APILADOR DE ALCANCE ⁶⁾								
Capacidad de elevación de carga (kN)	Bajo spreader en 1 ^a /2 ^a /3 ^a pila o vía		100/100/50 ⁷⁾				400/300/150 ⁹⁾	450/450/300 ¹⁰⁾
	Bajo abrazadera con mínimo alcance			150 ⁸⁾	250 ⁸⁾	300 ⁸⁾		
Características del equipo	Max. altura elevación sobre muelle (m)		15-18	7-9	7-9	7-9	12-15	10-12
	Peso (kN)		400	450	700	750	750	1000
Configuración geométrica del eje más cargado	N° ruedas (N)		4	4	4	4	4	4
	Separación (L_1) centros ruedas int (m)		2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
	Separación (L_2) centros ruedas ex/in (m)		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	Dimensiones (cxc) área contacto (m x m)		³⁾	³⁾	³⁾	³⁾	³⁾	³⁾
Máxima carga por rueda en el eje más cargado (kN) ⁴⁾	Sin operación	Vertical	60	65	85	90	90	110
	En condiciones de operación ⁵⁾	Vertical	85	100	150	200	275	330
		Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert
Carga vertical uniforme equivalente (kN/m ²)			20	25	28	30	35	40
C. CARRETILLAS (PUENTE, PÓRTICO O LANZADERA)								
TIPO DE CARRETILLA			LANZADERA		PUENTE O PÓRTICO			
Capacidad de elevación de carga(kN)/Máxima altura de elevación (n° contenedores)			400/2	500/2	400/3	400/4	500/3	500/4
Características del equipo	Peso (kN)		430	450	600	660	620	680
	Tipo de sistemas de eje		simple	simple	tándem	tándem	tándem	tándem
Configuración geométrica de ejes más cargados	Separación (L_1) centros de ruedas (m)		4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40
	Separación (L_3) centros de ruedas en tándem (m)		–	–	2,10	2,10	2,10	2,10
	Dimensiones (cxc) área contacto (m x m)		³⁾	³⁾	³⁾	³⁾	³⁾	³⁾
Máxima carga por rueda en el eje más cargado (kN) ⁴⁾	Sin operación	Vertical	110	115	75	85	80	85
	En condiciones de operación ⁵⁾	Vertical	200	240	125	135	140	150
		Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert
Carga vertical uniforme equivalente (kN/m ²)			15	20	15	15	20	20
D. UNIDADES TRACTOR-SEMIREMOLQUE Y SISTEMAS MULTIPLATAFORMA ¹¹⁾								
TIPO DE PLATAFORMA								
Capacidad de carga (kN)			500 ¹¹⁾			650 ¹²⁾		
Características del equipo	Peso (kN)		65-80			85-95		
	Tipo de sistemas de eje		simple			tándem		
	Longitud (m)		14,10			14,15		
Configuración geométrica de ejes más cargados	N° de ruedas (N)		4			8		
	Separación (L_1) entre centros de ruedas internas (m)		1,70			1,70		
	Separación (L_2) entre centros de ruedas externa e internas (m)		0,40			0,40		
	Separación (L_3) entre centros de ruedas en tándem (m)		–			1,30		
	Dimensiones (cxc) área contacto (m x m)		³⁾			³⁾		

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por equipos portuarios auxiliares estándar de transporte y depósito de movilidad no restringida ¹³⁾ (continuación)

Máxima carga por rueda en el eje más cargado (kN) ⁴⁾	Sin operación	Vertical	10	6
	En condiciones de operación ⁵⁾	Vertical	75-70	6,5
		Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert
Carga vertical uniforme equivalente (kN/m ²)			15	15

Notas

- 1) Cuando se dan rangos de valores para un tipo de carretillas elevadoras frontales, estos valores son función de los dispositivos o sistemas de elevación de la carga que pueden incorporar. En general, los valores menores se corresponden con horquillas y los mayores con sistemas laterales de elevación o spreader superior.
- 2) Los valores mayores corresponden a equipos para manipulación de contenedores vacíos mediante spreader lateral o superior.
- 3) Para obtener las dimensiones del área de contacto pueden considerarse presiones del orden de 800 kN/m².
- 4) Las máximas cargas por rueda consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud para cada tipo de equipo, habiéndose obtenido del análisis de los correspondientes a diferentes fabricantes. Dependiendo del fabricante y de la configuración geométrica, las variaciones pueden ser significativas por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si éste no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse por este tipo de equipos, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación. Las acciones horizontales se considerarán en la dirección de circulación de los equipos.
- 5) Considerando una velocidad del viento en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 24\text{ m/s}$ ($\approx 86\text{ km/h}$) e incluyendo la amplificación dinámica y los efectos inerciales asociados al movimiento de la carga y del equipo (traslación o frenada). No se incluyen los efectos debidos a posibles giros de los equipos. En las zonas en las que concentren giros de estos equipos puede considerarse que las cargas transmitidas son un 30% superiores a las consignadas en la tabla. En estos equipos puede considerarse que no es relevante la componente de la acción horizontal debida al viento. Por dicha razón, simplificadaamente se podrá considerar que las cargas incluidas en esta tabla son válidas para cualquier velocidad del viento menor o igual que la fijada como límite de operación.
- 6) Los apiladores de alcance son equipos que permiten manipular cargas que se encuentran situadas alejadas del chasis del equipo. Particularmente, en el caso de los contenedores o plataformas permiten la manipulación de los que se encuentran situados en las pilas 2^o y 3^o sin necesidad de mover los de la primera. Por dicha razón estos equipos se definen normalmente por su capacidad de elevación de carga situada en la primera, segunda y tercera pila o vía. Sin embargo, los apiladores de alcance para la manipulación de cargas fraccionadas mediante abrazaderas se definen por su capacidad de elevación de carga con mínimo alcance.
- 7) Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación de contenedores vacíos.
- 8) Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación de carga fraccionada.
- 9) Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación de contenedores cargados.
- 10) Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación intermodal (contenedores y cajas móviles sobre plataformas o ferrocarril).
- 11) Las plataformas portuarias, también denominadas chasis, se distinguen de las de carretera fundamentalmente por el peso que pueden soportar. El peso máximo por carretera no suele superar los 300 kN de carga útil, dependiendo de cada país. Sin embargo, en los puertos al no regir el principio de pesos máximos establecidos para los camiones, una plataforma puede llegar a cargar dos contenedores de 20' ó uno de 40 ó 45'. Estos equipos suelen ser remolcados por unidades tractoras con capacidad de elevación de la 5^a rueda de la plataforma de 250 a 300 kN y una capacidad de remolque de hasta 800 kN. En el caso de sistemas multiplataformas son necesarias unidades tractoras con mayor capacidad de remolque. Las cargas por eje transmitidas por estas unidades tractoras son menores que las transmitidas por las plataformas o chasis por lo que pueden no tomarse en consideración específicamente. Así mismo, las unidades incluidas en esta tabla se distinguen de las unidades tractor-plataforma rodante de bajo gálibo descritas en el apartado de equipos con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes o roll trailers (apartado 4.6.4.2.1.2.1) en que las plataformas correspondientes a estos últimos equipos tienen características completamente diferentes debido a que están diseñadas para facilitar su acceso al interior de los buques y permanecer conjuntamente con la mercancía en el interior de los mismos. Se diferencian fundamentalmente por ser estas últimas de baja altura y tener ruedas de pequeño diámetro de caucho sólido (Comparar figura D de la tabla 4.6.4.15 con figura B de la tabla 4.6.4.18).
- 12) Cuando se dan rangos de valores para un tipo de plataforma, los primeros están asociados con semirremolques y los segundos con plataformas para sistemas multiplataforma.
- 13) Puede considerarse suficientemente aproximado adoptar como valor cuasi-permanente de las cargas transmitidas por los equipos auxiliares de transporte y depósito incluidos en esta tabla el 0,90 del valor de las componentes verticales en condiciones de operación en los casos de carretillas frontales (A), apiladores de alcance (B) y carretillas puente, pórtico o lanzadera (C). Para unidades tractor-remolque y sistemas multiplataforma (D) se adoptará un coeficiente reductor de 0,80. En todos los casos se considerará que las componentes horizontales de actuación simultánea son nulas.

a₃) Para la verificación de modos de parada operativa

Salvo que el Promotor de la instalación de atraque y amarre especifique lo contrario, se considerará que el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de las operaciones de transporte horizontal y depósito queda verificado al comprobar el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, al adoptarse simplificadaamente como criterio de explotación que las operaciones de transporte horizontal y

depósito en las áreas de operación se paralizan cuando se paralizan las correspondientes a la carga y descarga del buque.

En el caso de que el Promotor de la instalación defina límites de operatividad para el agente “equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, utilizados para el transporte horizontal o depósito ($q_{v,213}$)”, asociados con otros criterios de explotación, deberá verificarse expresamente este modo de parada operativa. En estos casos, la verificación del nivel de operatividad asociada a este modo de parada se realizará definiendo la probabilidad de no excedencia del valor de la velocidad del viento que paraliza las operaciones de transporte horizontal y depósito por medio del régimen medio y de persistencias de dicho parámetro en el emplazamiento.

b) Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación de los modos de fallo es admisible considerar simplifadamente que las cargas más desfavorables para el modo de fallo analizado transmitidas por equipos auxiliares de transporte y depósito de movilidad no restringida durante el ciclo de solicitud correspondiente a condiciones operativas (realización de operaciones de transporte horizontal y depósito) se comportan como deterministas cuando se definen directamente valores nominales límite de las mismas. En los otros casos, dada la poca relevancia que tiene el viento en las cargas transmitidas por estos equipos dentro de los límites de operatividad establecidos por el fabricante para los mismos en relación con este agente, la componente debida al viento que interviene en la relación funcional que relaciona en cada equipo las cargas transmitidas con el agente causante no es significativa en los estados de proyecto representativos de las condiciones de trabajo operativas, independientemente de que sea o no sea el viento el agente climático que define el ciclo de solicitud correspondiente a estas condiciones normales operativas, por lo que puede considerarse simplifadamente como determinista en dichos. Igualmente esto último es aplicable a las componentes debidas al viento de las cargas transmitidas por los equipos cuando consideremos condiciones de trabajo excepcionales por presentación de una acción accidental, así como condiciones de trabajo extremas o excepcionales por presentación de una acción sísmica.

Al igual que lo indicado tanto para equipos de manipulación de movilidad restringida (apartado 4.6.4.2.1.1.1) como no restringida (apartado 4.6.4.2.1.1.2), para definir la función de distribución de las cargas transmitidas por los equipos como función derivada de la de los agentes causantes se considerará en todos los casos que las componentes debidas al peso propio del equipo que se introducen en la relación funcional que relaciona en cada equipo las cargas transmitidas con los agentes causantes se definen considerando su valor nominal y que las componentes debidas al peso y movimiento de la carga transportada se definen considerando que la función de distribución del peso de la carga transportada es una normal de media el 80% del valor nominal y coeficiente de variación 0,15.

En el caso de que se apliquen las cargas máximas incluidas en la tabla 4.6.4.17 correspondientes a equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito estándar, podrán considerarse como valores nominales de los límites operativos establecidos por criterios de explotación del equipo y, por tanto, simplifadamente, carentes de incertidumbre estadística durante la fase de servicio, independientemente de que sea o no sea el viento el agente que determine la operatividad de la instalación para las operaciones de carga y descarga.

4.6.4.2.1.2. Cargas transmitidas por sistemas discontinuos de carga y descarga del buque por medios rodantes ($q_{v,22}$)

4.6.4.2.1.2.1. Cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes ($q_{v,221}$)

Las operaciones de carga, descarga, estiba y desestiba del buque mediante sistemas discontinuos por medios rodantes están limitadas a los usos comerciales de mercancía general y pasajeros (ferris). Estas

operaciones pueden realizarse de forma autopropulsada (camiones con semirremolques, con o sin carga, así como turismos y autobuses que tienen por sí mismos el carácter de mercancía) o por medio de la utilización de equipos auxiliares de transporte o remolque que no permanecen en el buque (carretillas elevadoras frontales y unidades tractoras). En este último caso, la introducción-extracción de la mercancía del buque por rodadura puede hacerse bien directamente mediante la utilización de carretillas elevadoras o bien, cuando está depositada sobre otros elementos rodantes que permanecen conjuntamente con la mercancía en el interior del buque como remolques y semirremolques de carretera, plataformas rodantes de bajo gálibo (roll trailers) o plataformas sin ruedas (cassettes), mediante la utilización de unidades tractoras.

Cuando la carga o descarga del buque por medios rodantes no se haga de forma autopropulsada, para las operaciones, previas a la carga o posteriores a la descarga del buque, de traslado de las mercancías entre el costado del buque o el área de operación y las zonas de estacionamiento y almacenamiento, así como, en su caso, para la carga y descarga de las mercancías directamente en la zona de operación a o desde los modos de transporte terrestre, puede ser necesario tomar en consideración la utilización complementaria de equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito sobre neumáticos, de movilidad no restringida, de los descritos en el apartado 4.6.4.2.1.1.3 (p.e. apiladores de alcance) en el caso de que estas operaciones no puedan realizarse con los mismos equipos de transporte o remolque con los que se realiza la carga y descarga del buque por medios rodantes ⁽³⁹⁾.

La posible utilización de cada uno de estos equipos y las características de los mismos serán definidos por el Promotor, tomando en consideración el tipo y características de las mercancías a manipular y de su forma de presentación, así como las condiciones de explotación establecidas para la instalación portuaria. La utilización de cada uno de estos equipos no es excluyente; es decir, puede preverse la utilización simultáneamente de varios tipos de equipos. En cualquier caso, en obras de atraque y amarre en las que se considere la carga y descarga del buque mediante sistemas discontinuos por medios rodantes se considerará siempre, del lado de la seguridad, la utilización de equipos no autopropulsados, tanto carretillas elevadoras como unidades tractoras y plataformas rodantes, así como de equipos auxiliares de transporte y depósito sobre neumáticos que permiten completar la operativa en el área de operación, con el objeto de prever posibles cambios en las condiciones de explotación a lo largo de la vida útil de la instalación.

Las cargas a tomar en consideración transmitidas por los equipos que permiten la carga y descarga del buque por medios rodantes son debidas a las acciones y presiones verticales y a las acciones horizontales que se producen en las distintas ruedas de las que dispone el equipo en condiciones de equipo cargado.

Dichas cargas están asociadas con los mismos factores que las transmitidas por los equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.3).

Los parámetros que definen a este agente se incluyen en la tabla 4.6.4.15 para las carretillas elevadoras frontales y en la tabla 4.6.4.18 para las unidades tractor/plataforma rodante. Los parámetros que definen a las unidades tractor/semirremolque de carretera se incluyen en la tabla 4.6.4.27 al considerarse las cargas transmitidas por este tipo de equipos cubiertas por los modelos de carga normalizados equivalentes al tráfico terrestre viario en áreas portuarias.

La distribución espacial de las cargas transmitidas por cada equipo se considerará libre, limitada, en su caso, únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la instalación. Para cada estado de proyecto se adoptará la posición de las ruedas y distribución de cargas entre cada una de ellas correspondiente a la configuración del equipo y posición de la carga que produzca el efecto más desfavorable para el modo de fallo analizado.

(39) Las características de las plataformas rodantes de bajo gálibo: baja altura y ruedas de pequeño diámetro formadas por caucho sólido para facilitar el acceso al interior de los buques y soportar altas cargas, así como máximas velocidades operativas del orden de 10 km/h, no las hacen recomendables para distancias de transporte o remolque superiores a 500 m.

Tabla 4.6.4.18. Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes

A. CARRETILLAS ELEVADORAS FRONTALES			
Ver tabla 4.6.4.15			
B. UNIDADES TRACTOR-PLATAFORMA RODANTE DE BAJO GÁLIBO			
<p>The diagram shows a side view of a tractor-trailer unit. Below it are two plan views. The left plan view shows the tractor with four wheels, with vertical distance 'C' between the inner wheels, horizontal distance L_{1T} from the center to the front axle, and L_{2T} from the center to the rear axle. It indicates a total vertical load of $4 \times Q_{V,221T}$ and a total horizontal load of $4 \times Q_{V,221T}$. The right plan view shows the platform with two rows of wheels, with vertical distance 'b' between the inner wheels, horizontal distance L_{1P} from the center to the front axle, L_{2P} from the center to the rear axle, and L_{3P} between the two rows. It indicates a total vertical load of $\frac{N}{2} \times Q_{V,221P}$ and a total horizontal load of $\frac{N}{2} \times Q_{V,221P}$.</p>			
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA DE CARGAS TRACTOR-PLATAFORMA RODANTE	Separación entre el eje más cargado del tractor y el punto medio entre los ejes de la plataforma		L_4
	Nº de ruedas plataforma rodante		N
	TRACTOR	Separación entre centros de ruedas internas	L_{1T}
		Separación entre centros de ruedas externa e interna	L_{2T}
		Forma y dimensiones de las áreas de contacto	Cuadrada de lado C
	PLATAFORMA RODANTE	Separación entre centros de ruedas internas	L_{1P}
		Separación entre centros de ruedas externa e interna	L_{2P}
Separación entre centros de ruedas en tándem		L_{3P}	
Forma y dimensiones de las áreas de contacto		Rectangular a x b	
CARGA POR RUEDA	TRACTOR	Vertical	$Q_{V,221T} V,Rueda$
		Horizontal	$Q_{V,221T} H,Rueda$
	PLATAFORMA RODANTE	Vertical	$Q_{V,221P} V,Rueda$
		Horizontal	$Q_{V,221P} H,Rueda$

A los efectos de la verificación de modos de fallo globales y locales, en general será suficiente adoptar las cargas verticales correspondientes al eje simple más cargado correspondientes a un único equipo, en el caso de que se utilicen para la carga y descarga del buque carretillas elevadoras frontales, y al eje más cargado de un tractor conjuntamente con el eje tándem de las plataformas rodantes cuando se considere este tipo de sistema de carga y descarga. También se tomarán en consideración las cargas horizontales compatibles con dichas cargas verticales. No será necesaria la consideración de este agente para la verificación de modos de fallo globales en aquellos casos en los que la sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento considerada en el emplazamiento sea mayor o igual que la sobrecarga uniforme equivalente al equipo considerado. Así mismo, a los efectos de la verificación de modos de fallo locales, las cargas transmitidas por las unidades tractoras pueden considerarse cubiertas por las debidas al tráfico terrestre viario cuando éstas se consideren. Sin perjuicio de lo anterior, las obras de atraque y amarre en las que se prevean las operaciones de carga, descarga, estiba y desestiba por medios rodantes deberán verificarse también considerando la actuación de equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito en aquellas zonas del área de operación accesibles a los mismos según los criterios de explotación definidos por el Promotor, de acuerdo con lo establecido en el apartado 4.6.4.2.1.1.3. En este sentido, salvo que el Promotor lo exija específicamente, no se considerará la actuación de estos equipos auxiliares en los tacones y rampas necesarios para acceder a la bodega del buque desde la coronación de la obra de atraque.

Las cargas transmitidas por los equipos sobre neumáticos, de movilidad no restringida, con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes se considerarán únicamente en los estados de proyecto representativos de los ciclos de sollicitación asociados a la normal explotación de la instalación de atraque (condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga del buque), así como en los estados sísmicos y en los asociados a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario (condiciones de trabajo excepcionales), ya que en el resto de estados se considera que estos equipos se encuentran fuera de servicio. Las cargas transmitidas por estos equipos en estas condiciones se considerarán cargas compuestas, obteniéndose a partir de la combinación de acciones simultáneas y compatibles que actúan sobre los equipos en dichos estados; es decir, las debidas al peso propio del equipo y a la carga manipulada (incluyendo los efectos inerciales asociados con el movimiento del equipo y de la carga). El fabricante del equipo deberá suministrar las cargas verticales y horizontales transmitidas por cada agente, actuando aisladamente, sobre los ejes más cargados, considerando la máxima capacidad de carga manipulada.

Salvo en aquellos aspectos que en este apartado se señalen diferencias, la obtención y definición de las cargas transmitidas, sus valores nominales o sus valores representativos y, en su caso, sus funciones de distribución, se realizará de igual forma que lo establecido en esta Recomendación para los equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.3), considerando que las condiciones de trabajo operativas son las correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga del buque por rodadura.

Para la definición de los estados límite en condiciones de trabajo correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga por rodadura se tomarán en consideración todas las causas de paralización de estas operaciones, con el objeto de obtener los valores límite de operatividad de las variables de los agentes climáticos y operativos que paralizan esta operación, para todos los buques de la flota esperable en el atraque.

- ◆ Cuando el viento se adopte como agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga por medios rodantes, bien por la paralización por condiciones de seguridad del equipo o bien por causar movimientos en el buque amarrado incompatibles con la realización de las citadas operaciones, se adoptará para la definición de dicho estado límite la velocidad del viento en cada dirección de entre los que limiten estas operaciones. La metodología para definición de las condiciones límite de operatividad correspondientes a la paralización de las operaciones de carga y descarga por medios rodantes por incompatibilidad de los movimientos del buque atracado con dichas operaciones ⁽⁴⁰⁾, se incluye en el apartado 4.6.4.4.7.1.3. Cargas de amarre, epígrafes a_4 y b_2 , consideran-

(40) En general, los máximos movimientos admisibles de los buques respecto a la posición de reposo para poder realizar las operaciones de carga y descarga por medios rodantes oscilan entre 0,3-0,6 metros para los movimientos horizontales y entre 1 y 1,2 metros para los verticales en función de la posición de la rampa en el buque (proa, popa, lateral o tres cuartos). Para más detalles, así como para los máximos giros admisibles del buque, ver la tabla 4.6.4.22.

do, a falta de criterios o estudios específicos, como movimientos admisibles del buque los señalados en la tabla 4.6.4.22. para este tipo de operaciones. A su vez en ausencia de información específica del Promotor o del Fabricante de los equipos de manipulación, se adoptará como viento límite para la realización de estas operaciones por razones de seguridad de los equipos aquél cuya velocidad media en el intervalo (ráfaga) de 3 s a 10 m de altura sea 24 m/s ($\approx 86 \text{ km/h}$).

- ◆ Para la definición de los estados límites en esta condición operativa también deberán tomarse en consideración aquéllos casos en los que otro agente climático distinto del viento (p.e. oleaje, niveles de las aguas exteriores, efectos hidrodinámicos producidos por buques en tránsito,...) u operativo se adopte como agente predominante para alguna de las causas de paralización de la carga y descarga del buque por rodadura (incompatibilidad de los movimientos del buque con las operaciones de carga y descarga, incompatibilidad entre los niveles del borde lado mar de tacones y rampas y los niveles de los portones de los buques, así como entre las pendientes y acuerdos entre planos inclinados de los mismos con los vehículos o los equipos de manipulación con medios rodantes, y rebases de las aguas exteriores. En estos casos se adoptará en el estado límite la velocidad del viento simultáneo compatible con el valor límite de operatividad del agente adoptado como predominante en el estado meteorológico definido por el mismo (ver apartado 4.6.2.1). Estos estados deberán analizarse por si pudieran ser más desfavorables para el modo de fallo analizado considerando todas las cargas actuantes en estas condiciones de trabajo, aunque sean más limitativos en lo que respecta a la velocidad del viento.

A falta de otros estudios más precisos de compatibilidad de los movimientos de cada buque causados por los agentes climáticos con la carga y descarga del mismo por medios rodantes, puede adoptarse con carácter general cuando se consideren condiciones de amarre tipo como valor del agente climático predominante que define el estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga del buque por medios rodantes el recogido en la tabla 3.2.1.3. ($V_{v,1min} = 22 \text{ m/s}$; $V_{c,10 min} = 1,5 \text{ m/s}$ en dirección longitudinal al buque o $0,5 \text{ m/s}$ en sentido transversal; o $H_s = 0,5 \text{ m}$ en dirección longitudinal al buque o $0,3 \text{ m}$ en dirección transversal con longitudes de onda mayores que la eslora del buque, respectivamente).

Dada la poca relevancia que tienen los efectos del viento debido al tamaño, características y condiciones de operaciones de estos equipos, las cargas transmitidas por los mismos pueden considerarse independientes de la velocidad del viento considerada en esta condición.

Los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes en cada una de las condiciones de trabajo en que son de aplicación, cuando estén definidos en la fase de proyecto, se obtendrán de forma equivalente a los dispuesto en la tabla 4.6.4.16 para los valores representativos de las cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos de transporte horizontal y depósito de movilidad no restringida. Así mismo, para formulaciones probabilistas será de aplicación a las cargas transmitidas por los equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes lo dispuesto estos efectos para las cargas transmitidas por equipos auxiliares.

En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados por el Fabricante para los equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes previstos por el Promotor en función del uso de la obra de atraque y amarre y de las condiciones de explotación establecidas, podrán adoptarse como órdenes de magnitud de los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos considerados actualmente como estándar los consignados en la tabla 4.6.4.19, los cuales incluyen la amplificación dinámica y los efectos inerciales debidos a la traslación, frenada, etc...

◆ Cargas mínimas

En previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación de la obra de atraque y amarre durante su vida útil o de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, es recomendable que se adopten como mínimo las siguientes cargas transmitidas por equipos sobre neumáticos, de movilidad no restringida, con capacidad

Tabla 4.6.4.19. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida estándar con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes ⁶⁾

A. CARRETILLAS ELEVADORAS FRONTALES								
En general, el tipo de carretillas elevadoras frontales que se utilizan para la carga y descarga de buque por medios rodantes son aquellas con una capacidad de elevación de carga del orden de 300 kN. La configuración y los valores característicos de las cargas transmitidas por estos equipos se incluyen en la tabla 4.6.4.17.								
B. UNIDADES TRACTOR-PLATAFORMA RODANTE								
TIPO DE TRACTOR-PLATAFORMA RODANTE								
PLATAFORMA RODANTE	Capacidad de carga plataforma (kN) ¹⁾		450	600	800	1000	1200	
	Carga 5ª rueda de plataforma con máxima carga (kN)		140	185	215	265	320	
TRACTOR	Capacidad 5ª rueda (kN) ²⁾		300-500	300-350	300-350	300-350	300-350	
CARACTERÍSTICAS EQUIPO	Peso plataforma (kN)		50	55	60	70	90	
	Peso tractor (kN)		90-150	90-150	90-150	90-150	90-150	
	Longitud plataforma (m)		12,30	12,30	12,30	12,30	12,30	
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA DE CARGAS TRACTOR/ PLATAFORMA	Separación (L_4) entre el eje más cargado del tractor y el punto medio entre los ejes de la plataforma (m)		10,50	10,50	10,50	10,50	10,50	
	Nº de ruedas plataforma rodante (N)		8	8	8	8	8	
	TRACTOR	Separación (L_{17}) entre centros de ruedas internas (m)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	
		Separación (L_{27}) entre centros de ruedas externas e internas (m)	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	
		Forma y dimensiones (cxc) del área de contacto (m x m)	3)	3)	3)	3)	3)	
	PLATAFORMA	Separación (L_{1p}) entre centros de ruedas internas (m)	0,80	0,70	0,50	0,45	0,45	
		Separación (L_{2p}) entre centros de ruedas externas e internas (m)	0,48	0,52	0,60	0,75	0,75	
		Separación (L_{3p}) entre centros de ruedas en tándem (m)	0,65	0,75	0,75	0,80	0,90	
		Forma y dimensiones (cxc) del área de contacto (m x m)	ax0,40 ⁴⁾					
	MÁXIMA CARGA POR RUEDA (KN) ⁵⁾	TRACTOR	Sin operación	Vertical	15-25	15-25	15-25	15-25
En condiciones de operación			Vertical	50	60	70	80	90
			Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert
PLATAFORMA		Sin operación	Vertical	4,50	5,00	6,00	7,00	9,00
		En condiciones de operación	Vertical	45	60	85	105	125
			Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert
CARGA VERTICAL UNIFORME EQUIVALENTE (kN/m ²)				15	20	25	30	35

Notas

- Cuando, de acuerdo con lo previsto en esta Recomendación, se adopten los valores consignados en esta tabla para la definición de cargas mínimas, en aquellos parámetros que se incluya un rango de valores se utilizará a estos efectos el valor medio.
- 1) Si bien están disponibles plataformas rodantes con menor (250 a 400 kN) o mayor (hasta 2000 kN) capacidad de carga, se incluyen en esta tabla únicamente las que se consideran más comunes en las terminales portuarias por su mayor adaptación a diferentes condiciones de explotación y de presentación de las mercancías, con longitudes capaces de transportar tanto carga fraccionada como simultáneamente 2 contenedores de 20' o un contenedor de hasta 45' (longitudes del orden de 12 m).
- 2) Aunque pueden utilizarse unidades tractoras con menor capacidad en 5ª rueda para los tipos de plataformas rodantes incluidos en esta tabla hasta 800 kN de capacidad de carga, en general se considera recomendable para estas plataformas utilizar unidades tractoras con capacidad en la 5ª rueda mayor de 300 kN y con capacidad de remolque hasta 1200 kN.
- 3) Para obtener las dimensiones del área de contacto correspondiente a la rueda de la unidad tractora puede considerarse presiones de contacto del orden de 800 kN/m².
- 4) La dimensión (a) del área de contacto correspondientes a las ruedas de la plataforma puede obtenerse considerando presiones de contacto del orden de 2500 kN/m².
- 5) Las máximas cargas por rueda consignadas en esta tabla incluyen amplificación dinámica y los efectos inerciales debidos a la traslación (aceleración, frenada, ...). No se incluyen los efectos debidos a posibles giros de los equipos. En las zonas en la que se concentren giros de estos equipos puede considerarse que las cargas transmitidas son un 30% superiores a las consignadas en

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida estándar con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes ⁶⁾ (continuación)

en la tabla. Tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud para cada tipo de equipo, habiéndose obtenido del análisis de los correspondientes a diferentes fabricantes. Dependiendo del fabricante y de la configuración geométrica, las variaciones pueden ser significativas por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si éste no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse por este tipo de equipos, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación. Las acciones horizontales se considerarán en la dirección de circulación de los equipos. En estos equipos puede considerarse que no es relevante la componente de la acción horizontal debida al viento. Por dicha razón, simplificada se podrá considerar que las cargas incluidas en esta tabla son válidas para cualquier velocidad del viento menor o igual que la fijada como límite de operación.

- 6) Puede considerarse como suficientemente aproximado adoptar como valor cuasi-permanente de las cargas transmitidas por los equipos con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes incluidos en esta tabla 0,90 el valor de las componentes verticales en condiciones de operación en los casos de carretillas frontales (A). Para unidades tractor-plataforma rodante (B) se adoptará un coeficiente reductor de 0,9 para las cargas transmitidas por unidades tractoras y 0,80 para las transmitidas por las plataformas rodantes. En todos los casos se considerará que las componentes horizontales de actuación simultánea son nulas.

de carga y descarga del buque por medios rodantes, aunque la utilización de dichos equipos no este inicialmente prevista o inicialmente detallada por el Promotor:

- Para usos comerciales de mercancía general y pasajeros en los casos ro-ro, ferris y multipropósito
 - Las cargas correspondientes a las carretillas elevadoras frontales con capacidad de elevación de carga de 300 kN incluidas en la tabla 4.6.4.17.
 - Las cargas correspondientes a las unidades tractor-plataforma rodante de bajo gálibo con capacidad de carga de 800 kN incluidas en la tabla 4.6.4.19.

En obras de atraque y amarre para *el resto de usos* no se considerarán cargas mínimas debidas a equipos sobre neumáticos, de movilidad no restringida, con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes, sin perjuicio de considerar en esos usos las cargas mínimas debidas a equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito que sean de aplicación de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.4.2.1.1.3.

El resumen de las cargas mínimas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes a adoptar en las áreas de operación de obras de atraque y amarre en las que esté prevista la carga y descarga del buque mediante sistemas discontinuos por medios rodantes se incluye en la tabla 4.6.4.23.

En lo que respecta a la verificación de modos de parada operativa, el agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado es el agente “manipulación de mercancías mediante sistemas discontinuos por medios rodantes ($q_{v,22}$)” cuando la operativa de carga y descarga del buque se realiza mediante este sistema de manipulación.

A los efectos de verificar este modo de parada operativa se definirán los valores umbral de las variables de los agentes climáticos que limitan las operaciones de carga y descarga del buque por rodadura, para cada una de las siguientes causas de paralización de estas operaciones que sean relevantes para el emplazamiento, de acuerdo con lo dispuesto en este apartado para las condiciones de trabajo operativas:

- Paralización por razones intrínsecas de seguridad de los equipos.
- Paralización por incompatibilidad con los movimientos del buque atracado con las operaciones de carga y descarga con medios rodantes.
- Paralización por incompatibilidad de niveles entre la bodega del buque y la coronación de la obra de atraque o, en su caso, de los tacones o rampas disponibles.

- Paralización por rebases de las aguas exteriores o, en su caso, del trasdós sobre el nivel de coronación de la obra de atraque.
- Paralización por rebases del oleaje sobre la coronación de las obras de abrigo, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a éstas.

El nivel de operatividad conjunto correspondiente a las paralización de las operaciones de carga y descarga del buque por medios rodantes podrá obtenerse de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en el apartado 4.1.1.3. Verificación de modos de parada operativa, de esta Recomendación.

En general, en las instalaciones de atraque es recomendable que el nivel de coronación de las mismas se fije de forma que nominalmente no se produzca la paralización de la instalación por rebases de las aguas (Ver apartado 3.2.2.1. Niveles de coronación del atraque. Asimismo, es recomendable que no se produzca la paralización de las operaciones de carga y descarga del buque por medios rodantes por incompatibilidad de niveles entre la bodega del buque y la coronación de la obra de atraque o, en su caso, de los tacones o rampas disponibles (ver apartados 3.2.1.6. Posición y dimensiones en planta de tacones y rampas y 3.2.2.3. Perfil longitudinal de tacones y rampas). De igual forma, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a diques es recomendable que los niveles de coronación de las obras de abrigo se proyecten de modo que la probabilidad de paralización de las operaciones de carga y descarga asociada con los rebases de oleaje a través de la coronación del dique sea también nominalmente nula.

4.6.4.2.1.3. Cargas transmitidas por sistemas continuos de carga y descarga del buque ($q_{v,23}$)

Las operaciones de carga, descarga, estiba y desestiba del buque mediante sistemas continuos están limitadas a los usos comerciales de graneles líquidos y sólidos, siendo los equipos que permiten la realización de estas operaciones diferentes para cada uno de estos usos.

4.6.4.2.1.3.1. Cargas transmitidas por sistemas continuos de carga y descarga de graneles líquidos ($q_{v,231}$)

El procedimiento de carga-descarga de los graneles líquidos mediante sistemas continuos y su transporte desde o hasta las zonas de almacenamiento se realiza por bombeo a través de tuberías y de sistemas de conexión de éstas con el buque que permiten la realización de estas operaciones en condiciones de seguridad y sostenibilidad ambiental, al adaptarse a los movimientos verticales, movimientos horizontales y giros generados en el buque atracado por los agentes del medio físico (niveles de agua, corrientes, viento, oleaje, ...) o los agentes operativos hasta los límites de operación considerados.

Esta conexión puede realizarse por medio de:

- ◆ Brazos articulados.
- ◆ Mangueras o tuberías flexibles, incluyendo, en su caso, instalaciones que faciliten su manejo y almacenamiento.

La posible utilización de cada uno de estos sistemas de conexión y las características de los mismos serán definidas por el Promotor, tomando en consideración el tipo de granel líquido a manipular, en particular su peligrosidad y los rendimientos exigidos, así como su compatibilidad con la configuración física de la obra de atraque (monoboya, campos de boyas o pantalanés) y con las condiciones climáticas en el emplazamiento. Con carácter general la tecnología actualmente existente permite utilizar ambos sistemas para todo tipo de graneles líquidos, independientemente de la configuración física del atraque adoptada y de la severidad climática en el emplazamiento. No obstante lo anterior, puede considerarse que los brazos articulados situados sobre pantalanés o plataformas en zonas abrigadas o sometidas a climas marítimos no demasiado severos son el mecanismo más seguro y eficaz de conexión para todo tipo de productos, particularmente los que exigen una manipulación a temperatura no ambiental, bien más elevada (productos asfálticos) o bien criogénica (gases licuados), y cuando se realiza la carga-descarga del buque de costado. En zonas no abrigadas con climatología severa o cuando la

configuración física del atraque adoptada sea un duque de alba de amarre aislado, una monoboya o un campo de boyas, como criterio general suelen utilizarse mangueras o tuberías flexibles.

Los equipos de conexión suelen ser, en general, fijos, aunque también pueden ser de movilidad restringida o sobre un chasis móvil, con el objeto de dotarles de mayor flexibilidad de posición en la línea de atraque en función de la flota previsible de buques.

Este agente se define mediante las acciones (verticales, horizontales y momentos) y presiones asociadas transmitidas directamente a la obra de atraque en el caso del equipo fijo o, en el caso de equipos de movilidad restringida y de equipos sobre chasis, transmitidas a través de las ruedas que permiten la movilidad del equipo en una banda de circulación o de forma no restringida respectivamente, así como, en el caso de equipos de movilidad restringida, a través de los anclajes en aquéllos estados de proyecto en los cuales se considere su inmovilización.

Dichas cargas están asociadas fundamentalmente con los siguientes factores:

- ◆ Configuración geométrica del equipo, particularmente en la interfase equipo/obra de atraque (forma y dimensiones del área de contacto, ...).
- ◆ Peso propio del equipo.
- ◆ Efectos inerciales asociados con los movimientos del equipo y el paso del fluido durante las operaciones de carga y descarga.
- ◆ Los efectos de los agentes del medio físico, particularmente el viento.

En el caso de equipos de movilidad restringida también deberá tomarse en consideración la configuración geométrica de la interfase equipo-obra de atraque (separación entre ejes, número y separación entre ruedas,...).

Los parámetros que definen a este agente se incluyen en la tabla 4.6.4.20 para equipos fijos. Para los equipos de movilidad restringida, los parámetros que definen este agente pueden considerarse equivalentes a los definidos en la tabla 4.6.4.5 para los equipos de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación. Para los equipos situados sobre chasis móvil, los parámetros que definen este agente pueden considerarse equivalentes en general a los modelos de carga normalizados 1 y 2 correspondientes al tráfico viario en áreas portuarias incluidos en la tabla 4.6.4.28.

La distribución espacial de estas cargas se considerará libre con las restricciones asociadas a la configuración geométrica de los equipos, limitada únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para los mismos y para la instalación portuaria. Por condiciones de explotación de la instalación, así como por exigencias de seguridad es recomendable que la distancia entre el cantil de la obra de atraque y el eje de la estructura vertical fija más próxima al lado mar sea mayor de 2,50 m ⁽⁴¹⁾, debiéndose garantizar una distancia mínima entre el cantil y cualquier parte del equipo en configuración replegada mayor de 1,50 m. para evitar su posible colisión con el buque durante las maniobras de atraque o durante la permanencia del mismo en el atraque (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.1). Para cada estado de proyecto se adoptarán las cargas correspondientes a la posición del equipo y dirección del viento que, siendo compatibles con dicho estado, produzca los efectos más desfavorables para el modo de fallo analizado.

A los efectos de la verificación de modos de fallo tanto globales como locales se considerarán las cargas transmitidas por todos los equipos de conexión definidos por el Promotor en cada uno de los estados de proyecto, considerando, salvo que las condiciones de explotación definan lo contrario, que los ubicados en un mismo atraque pueden estar en servicio simultáneamente.

(41) Esta recomendación tiene un carácter general sin perjuicio de que en algunos casos puede generar dificultades en la cimentación del equipo que no haga conveniente dicha disposición. Por ejemplo en obras de atraque de pantallas, con el objeto de poder apoyar el equipo sobre la pantalla, pueden admitirse excepcionalmente distancias menores entre el cantil y el equipo, pero nunca menores de 0,80 m. Por otra parte, salvo que las condiciones de explotación establecidas para la instalación de atraque lo exijan específicamente, no es conveniente aumentar demasiado esta distancia ya que reduce el alcance efectivo del equipo de manipulación.

Tabla 4.6.4.20. Parámetros que definen las cargas transmitidas por brazos articulados fijos en sistemas continuos de manipulación de graneles líquidos

CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Forma y dimensiones área contacto	Cuadrada c x c
ACCIONES EN LA BASE DE ANCLAJE DEL BRAZO	VERTICAL	$Q_{v,231 V}$
	HORIZONTAL	$Q_{v,231 H}$
	MOMENTO	$Q_{v,231 M}$

Las cargas transmitidas por los equipos de conexión se considerarán cargas compuestas, obteniéndose a partir de la combinación de las acciones simultáneas y compatibles que en cada estado de proyecto representativo de los ciclos de sollicitación asociados a la normal explotación de la instalación de atraque (condiciones de trabajo operativas), a la inoperatividad de la misma en el caso de equipos fijos o de movilidad restringida (condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la actuación de viento extraordinario) o la presentación de un agente extraordinario o insólito (condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una accidental y condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica) actúan sobre el equipo, tomando en consideración las diferentes posiciones y configuraciones que puede adoptar éste en dicho estado, así como la dirección del viento. Para ello el fabricante del equipo

deberá suministrar las cargas verticales, horizontales y los momentos transmitidos separadamente por el peso propio del equipo, los debidos a efectos inerciales durante el proceso de carga y descarga, incluido el peso del fluido, y el viento, tomando en consideración las diferentes posiciones del equipo y la dirección del viento, de forma que sea posible definir los diferentes valores representativos y, en su caso, las funciones de distribución asociados a dichas cargas. Para los equipos sobre chasis será de aplicación lo dispuesto a estos efectos para el tráfico viario.

Para los equipos fijos y de movilidad restringida, la obtención y definición de las cargas transmitidas, de sus valores representativos y, en su caso, sus funciones de distribución se realizará de forma equivalente a lo establecido para los equipos fijos y de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.1), considerando, igualmente, los estados límite correspondientes a las condiciones de trabajo operativas definidos por los diferentes valores límite de los agentes climáticos y operativos que dan lugar a la paralización de las operaciones, considerando todas las causas de paralización y todos los buques de la flota esperable en el atraque.

A falta de estudios más precisos entre movimientos del buque atracado y agente actuante de acuerdo con los procedimientos y con los valores admisibles establecidos en esta Recomendación para este tipo de equipos (ver tabla 4.6.4.22), si como de especificaciones del fabricante, pueden adoptarse con carácter general como valores límite de operatividad de los distintos agentes climáticos, cuando cada uno de ellos es el predominante y, por tanto, define un estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga de graneles líquidos mediante sistemas continuos, los consignados en la tabla 3.2.1.3, obtenidos considerando que los movimientos que producen en los buques atracados con condiciones de amarre tipo son los máximos admisibles usuales para equipos convencionales ⁽⁴²⁾.

En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados por el fabricante para los equipos de conexión previstos por el Promotor para la carga-descarga de graneles líquidos por sistemas continuos en función de las condiciones de explotación establecidas, en particular los rendimientos de carga y descarga considerados, podrán adoptarse como órdenes de magnitud de los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos de conexión fijos considerados actualmente como estándar o más usuales los consignados en la tabla 4.6.4.21, los cuales incluyen los efectos inerciales asociados a los movimientos del equipo durante las operaciones de carga y descarga.

◆ Cargas mínimas

En previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación de la obra de atraque y amarre durante su vida útil o de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, para formulaciones deterministas y determinista-probabilista de las ecuaciones de verificación es recomendable que se adopten en obras de atraque y amarre para usos comerciales de graneles líquidos como mínimo los siguientes valores representativos de las cargas transmitidas por sistemas continuos de carga y descarga del buque, independientemente de que esté o no inicialmente previsto o detallado por el Promotor el tipo y número de equipo de conexión:

- Para buques máximos de proyecto de menos de 20.000 TPM
 - Máximas cargas en base soporte incluidas en la tabla 4.6.4.21 correspondientes a un brazo articulado para una tubería de 203 mm de diámetro (8”).

(42) Para brazos articulados convencionales en general son admisibles semiamplitudes de los movimientos horizontales del buque de vaivén menores de 2 m y amplitudes de los movimientos de deriva menores de 2 m, dependiendo de los periodos de oscilación del buque atracado. No obstante, particularmente para productos petrolíferos y químicos, actualmente existen en el mercado tecnologías de equipos de conexión que admiten un mayor rango de movimientos horizontales del buque en las operaciones de carga y descarga, con amplitudes del orden de 6 m o más para los movimientos de vaivén y de 3 m para los movimientos de deriva, lo que permite operar incluso con alturas de olas significante entre 3 y 5 m (Para más detalles ver tabla 4.6.4.22).

Tabla 4.6.4.21. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por brazos articulados fijos tipo sistemas continuos de manipulación de graneles líquidos 1) 4)

TIPO DE BRAZO ARTICULADO							
Diámetro de tubería (mm) [“]		203 [8”]	254 [10”]	305 [12”]	406 [16”]	508 [20”]	
Máximo rendimiento bruto (m ³ /h)		1100	1700	2500	4000	5500	
CARACTERÍSTICAS DEL BRAZO ARTICULADO	Alcance tipo de conexión desde el eje del brazo (m)	10,0	10,0	12,0	13,0	15,0	
	Altura tipo de conexión sobre base (m)	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0	
	Altura tipo de conexión por debajo de base (m)	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0	
	Peso (kN)	190	240	320	360	400	
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Máxima altura en posición replegada (m)	20	22	25	28	30	
	Dimensiones (c x c) base soporte (m x m)	1,50 x 1,50					
MÁXIMA CARGA EN BASE SOPORTE (kN o kNm)	En condiciones de Operación 2)	Vertical	250	300	400	450	500
		Horizontal	35	40	43	50	53
		Momento	600	800	1000	1200	1350
	En condiciones Extremas o Excepcionales debidas a viento extraordinario	Vertical	190	240	320	360	400
		Horizontal	100	110	125	140	147
		Momento	1000	1200	1500	1900	2200
Notas							
<p>1) Los valores consignados en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud para cada tipo de brazo articulado hasta 20” de diámetro de tubería, habiéndose obtenido de los análisis de los correspondientes a varios fabricantes. Estos brazos son los más comunes, aunque para grandes buques pueden utilizarse brazos con mayores diámetros de tubería (24”). Dependiendo del fabricante, así como del alcance y alturas de conexión necesarios en función del tipo de buque y de los resguardos de seguridad exigidos, las variaciones pueden ser significativas por lo que deben contrastarse por las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si esto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse por los equipos, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación.</p> <p>2) Considerando una velocidad de viento en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 24\text{ m/s}$ ($\approx 86\text{ km/h}$) actuando en la dirección de la posición del brazo y en el sentido más desfavorable, e incluyendo los efectos inerciales asociados con los movimientos del brazo y el paso del fluido. Para otra velocidad del viento, se considerará que la componente vertical de las cargas incluida en la tabla no varía y que las componentes horizontal y la parte del momento debidas al viento se modifican aplicando la relación $(V_1/V_0)^2$. Simplificadamente, puede considerarse que la componente del momento no debida al viento es igual a la componente vertical incluida en la tabla por una excentricidad de 1,1 m.</p> <p>3) Considerando una velocidad de viento en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 40\text{ m/s}$ ($\approx 144\text{ km/h}$) en la dirección perpendicular o paralela al cantil de la obra de atraque. Para la determinación de la carga máxima horizontal y el momento para otra velocidad del viento (V_1) puede aplicarse la relación $(V_1/V_0)^2$ a los datos de la tabla.</p> <p>4) Los otros valores representativos (de combinación, frecuente y cuasi-permanente) en condiciones de equipo fuera de servicio pueden obtenerse a partir de los valores consignados en esta tabla para condiciones extremas, considerando que la componente vertical no varía y que la componente horizontal y el momento se modifican en función de la velocidad del viento que le corresponda a cada valor representativo de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.8, calculados a través del procedimiento establecido en la cláusula 3). Los valores frecuente y cuasi-permanente en condiciones del equipo en servicio, pueden obtenerse a partir de los valores consignados en esta tabla para condiciones de operación, considerando que la componente vertical no varía y que la componente horizontal y la parte del momento debidas al viento se modifican en función de la velocidad del viento que le corresponda a cada valor representativo de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.8, calculados a través del procedimiento establecido en la cláusula 2).</p>							

- Cargas lineales equivalentes a la actuación simultánea de varios brazos articulados para tuberías de 203 mm de diámetro (8”), situados con una separación entre ejes de las estructuras verticales fijas de sustentación de 3 m.
- Para buques máximos de proyecto entre 20.000 a 30.000 TPM
- Máximas cargas en base soporte incluidas en la tabla 4.6.4.21 correspondientes a un brazo articulado para una tubería de 254 mm de diámetro (10”).

- Cargas lineales equivalentes a la actuación simultánea de varios brazos articulados para tuberías de 254 mm de diámetro (10”), situados con una separación entre ejes de las estructuras verticales fijas de sustentación de 3 m.
- Para buques máximos de proyecto entre 30.000 a 40.000 TPM
 - Máximas cargas en base soporte incluidas en la tabla 4.6.4.21 correspondientes a un brazo articulado para una tubería de 305 mm de diámetro (12”).
 - Cargas lineales equivalentes a la actuación simultánea de varios brazos articulados para tuberías de 305 mm de diámetro (12”) situados con una separación entre ejes de las estructuras verticales fijas de sustentación de 4 m.
- Para buques máximos de proyecto entre 40.000 a 50.000 TPM
 - Máximas cargas en base soporte incluidas en la tabla 4.6.4.21 correspondientes a un brazo articulado para una tubería de 406 mm de diámetro (16”).
 - Cargas lineales equivalentes a la actuación simultánea de varios brazos articulados para tuberías de 406 mm de diámetro (16”), situados con una separación entre ejes de las estructuras verticales fijas de sustentación de 4 m.
- Para buques máximos de proyecto de más de 50.000 TPM
 - Máximas cargas en base soporte incluidas en la tabla 4.6.4.21 correspondientes a un brazo articulado para una tubería de 508 mm de diámetro (20”).
 - Cargas lineales equivalentes a la actuación simultánea de varios brazos articulados para tuberías de 508 mm de diámetro (20”), situados con una separación entre ejes de las estructuras verticales fijas de sustentación de 5 m.

Las cargas lineales se obtendrán por división de las cargas transmitidas por los equipos considerados, incluidas en la tabla 4.6.4.21, por la separación entre ejes de las estructuras verticales fijas de sustentación.

Para formulaciones probabilistas, la obtención de las funciones de distribución de las cargas transmitidas en los diferentes ciclos de sollicitación por los brazos articulados tipo considerados en la tabla 4.6.4.21 que se exige que se adopten como mínimos para las obras de atraque y amarre de uso comercial de graneles líquidos en función del buque máximo de proyecto, se realizará a través de la adaptación a estos equipos del procedimiento establecido a estos efectos en el apartado 4.6.4.2.1.1.1. Cargas transmitidas por equipos fijos y de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación. En el caso de que se apliquen las cargas máximas incluidas en la tabla 4.6.4.21 correspondientes al ciclo de sollicitación en condiciones de trabajo operativas, podrán considerarse como valores nominales de los límites operativos establecidos por criterios de explotación del equipo y, por tanto simplificada y carentes de incertidumbre estadística durante la fase de servicio, siempre que sea el viento el agente que determine la operatividad de la instalación.

El resumen de las cargas mínimas transmitidas por brazos articulados fijos a adoptar en las áreas de operación de obras de atraque y amarre de uso comercial de graneles líquidos se incluye en la tabla 4.6.4.23.

Para la verificación de modos de fallo globales, con carácter general puede considerarse que las cargas debidas a los polductos de tuberías desplegadas en las áreas de operación (en general, como máximo dos niveles de tuberías) están cubiertas por las sobrecargas mínimas de estacionamiento y almacenamiento establecidas en esta Recomendación para dichas áreas para usos comerciales de graneles líquidos con sistemas de manipulación continuos cuando son accesibles al tráfico viario (10 kN/m^2 de acuerdo con tabla 4.6.4.4 más los efectos del viento compatibles). En los casos en que el Promotor de la instalación prevea más niveles de tuberías, puede considerarse una sobrecarga uniforme vertical equivalente a cada nivel de tuberías igual a 5 kN/m^2 y una horizontal longitudinal de 5 kN/m^2 debida a la fuerza de rozamiento horizontal producida por los efectos de dilatación/contracción de las tuberías. Adicionalmente se considerará una sobrecarga unifor-

me horizontal, con la misma distribución espacial que la carga vertical, debida a la acción del viento, resultante de adoptar como valor representativo de la velocidad del viento en magnitud y dirección el correspondiente al ciclo de sollicitación considerado y como superficie expuesta la resultante de considerar un metro de altura por cada nivel de tuberías. En zonas de operación no accesibles al tráfico rodado se considerará como mínimo las sobrecargas correspondientes a un nivel de tuberías.

En lo que respecta a la verificación de modos de parada operativa, el agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de carga y descarga con buque atracado es el agente “manipulación de graneles líquidos mediante sistemas continuos ($q_{v,231}$)” cuando la operativa de carga y descarga del granel líquido se realiza mediante este sistema de manipulación.

A los efectos de verificar este modo de parada operativa se considerarán como valores umbral de las variables de los agentes climáticos que limitan las operaciones de carga y descarga, para cada una de las causas posibles de paralización de estas operaciones en el emplazamiento, los definidos de acuerdo con lo dispuesto en este apartado para las condiciones de trabajo operativas. Para la verificación del nivel de operatividad de la instalación asociado a este modo de parada operativa será de aplicación lo dispuesto a estos efectos en el apartado 4.1.1.3. Verificación de modos de parada operativa, así como en el epígrafe a_3 del apartado 4.6.4.2.1.1.1. Cargas transmitidas por equipos fijos y de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación.

4.6.4.2.1.3.2. Cargas transmitidas por sistemas continuos de carga y descarga de graneles sólidos ($q_{v,232}$)

La carga y descarga de buques de graneles sólidos mediante sistemas continuos y su transporte desde o hasta las zonas de almacenamiento se realiza mediante procedimientos mecánicos o neumáticos por medio de equipos cargadores o descargadores, situados bien en el buque (buques autocargadores o autodescargadores), bien sobre la obra de atraque, y, en su caso, de elementos de conexión entre dichos equipos y la zona de almacenamiento o los modos de transporte terrestre viario o ferroviario (cintas transportadoras, tuberías, tornillos sin fin, ...).

La utilización de cada uno de estos procedimientos y las características de los mismos serán definidas por el Promotor, tomando en consideración el tipo o tipos de granel sólido a manipular, en particular sus pesos específicos y sus condiciones de alterabilidad, la flota de buques esperable en el atraque, el tipo de operación a realizar en la instalación (carga, descarga o ambas), los rendimientos necesarios, los requerimientos ambientales exigidos y las características de la instalación de almacenamiento asociada, así como su compatibilidad con la configuración física del atraque y con las condiciones climáticas en el emplazamiento. En general, los equipos utilizados en función del tipo de operación a realizar en la instalación y el tipo o tipos de granel sólido a manipular son los siguientes:

- ◆ *Las operaciones de carga del buque por medios continuos se realizan en el caso de graneles sólidos pesados por procedimientos mecánicos con vertido al buque por gravedad, utilizando equipos cargadores alimentados por cintas transportadoras. Los equipos cargadores pueden ser tanto pórticos fijos como de movilidad restringida, sobre raíles o neumáticos, con plumas de longitud fija o variable, con posibilidad o no de movimientos de giro y basculamiento.*

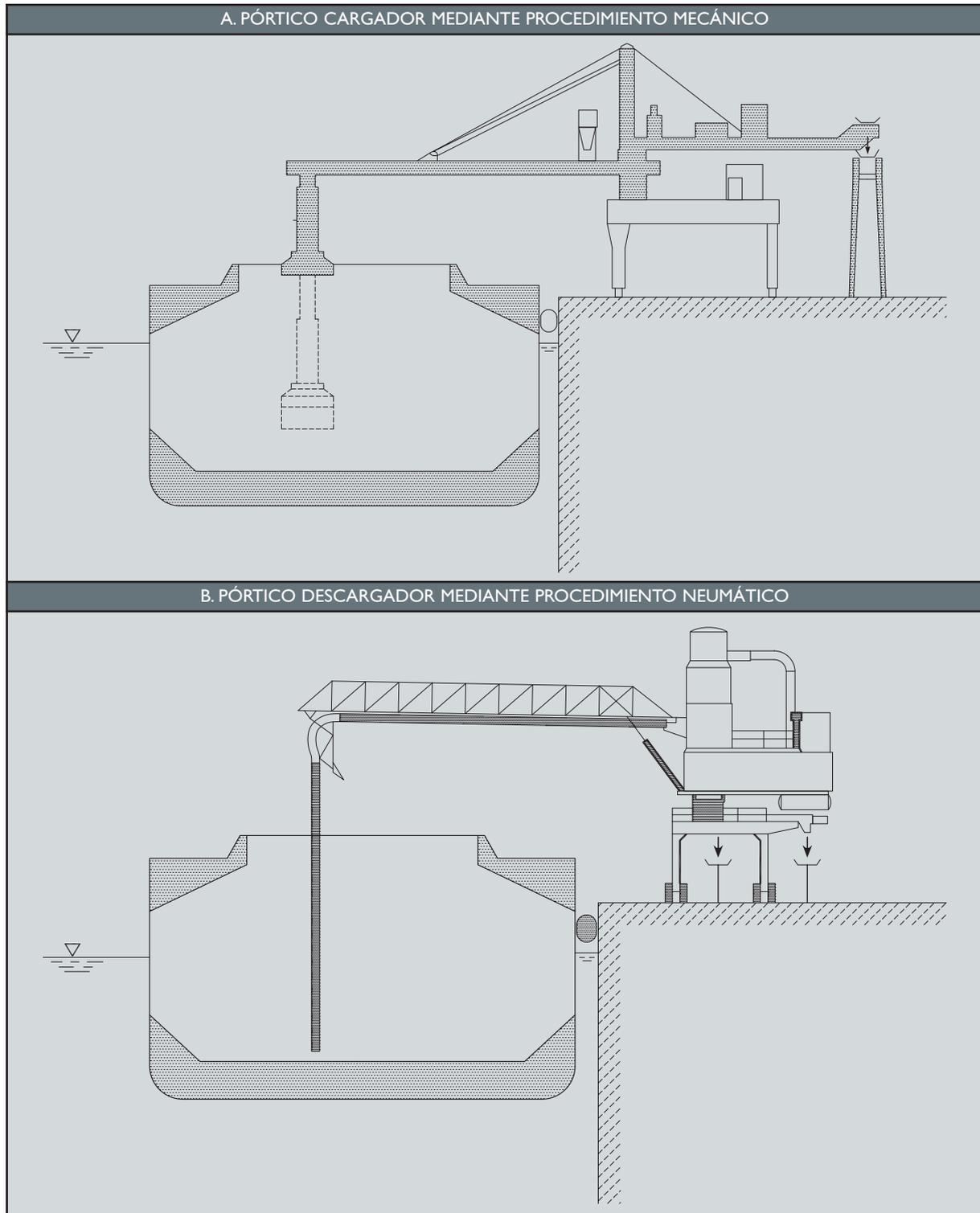
En función de las características de los equipos cargadores se distinguen entre:

- Cargador longitudinal: Equipo de movilidad restringida, con pluma de longitud fija o variable sin posibilidad de movimientos de giro o basculamiento.
- Cargador en arco: Equipo fijo, con pluma de longitud fija o variable, con posibilidad de movimientos de giro y basculamiento.
- Cargador lineal: Equipo de movilidad restringida, con pluma de longitud fija con posibilidad de movimientos de giro y basculamiento.

Los rendimientos de estos equipos son los de la cinta transportadora de alimentación.

En el caso de graneles sólidos ordinarios o pulverulentos, las operaciones de carga por medios continuos se realizan con medios que no difieren mucho de los utilizados para los graneles sólidos pesados aunque incluyendo sistemas de vertido que evitan el polvo y la disgregación en una gran caída. Para este tipo de graneles los sistemas de alimentación del cargador también pueden ser neumáticos con tubería (Ver figura 4.6.4.2).

Figura 4.6.4.2. Ejemplos de sistemas continuos de carga y descarga de buques de graneles sólidos



- ◆ *Las operaciones de descarga del buque por medios continuos se realizan en el caso de graneles sólidos pesados por procedimientos mecánicos, utilizando equipos descargadores que incluyen sistemas de elevación vertical del granel hasta cintas que permiten su transporte hasta las áreas de almacenamiento. Los sistemas de elevación vertical más comunes son los elevadores de tornillo, los elevadores de cangilones, las rotopalas, los scrapers y las dobles cintas. Los equipos descargadores pueden ser tanto pórticos fijos como de movilidad restringida, sobre carriles o neumáticos, similares a los pórticos cargadores, e incluso de movilidad no restringida sobre neumáticos, con plumas de longitud fija o variable, con o sin capacidad de giro. Los rendimientos de estos equipos son los de los sistemas de elevación. En el caso de graneles sólidos ordinarios o pulverulentos, la descarga puede hacerse tanto por los procedimientos mecánicos similares a los utilizados para los graneles pesados, aunque con equipos menos pesados, como por procedimientos neumáticos de aspiración o impulsión, que permiten reducir la producción de polvo y las pérdidas de material. En este caso, el sistema de elevación está formado por una tubería flexible en cuyo extremo está la boca de aspiración o el dispositivo de introducción del material en la tubería de impulsión. Los sistemas de transporte hasta las áreas de almacenamiento o directamente hasta otros modos de transporte pueden ser tanto neumáticos como mecánicos (Ver figura 4.6.4.2).*

Las cargas a tomar en consideración debidas a dichos equipos, los factores que influyen en las mismas, los parámetros que las definen, su distribución espacial y los criterios para la obtención de sus valores representativos y, en su caso, sus funciones de distribución, son equivalentes a los asociados con los equipos fijos, los de movilidad restringida y los de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación, en función del tipo de pórtico cargador o descargador considerado (Ver apartados 4.6.4.2.1.1.1 y 4.6.4.2.1.1.2). De igual forma que estos equipos, los estados límite correspondientes a las condiciones de trabajo operativas de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado por medios continuos deben definirse considerando como agente predominante tanto la velocidad del viento límite que permite realizar estas operaciones como los valores límite de operatividad del resto de variables de los agentes climáticos y operativos que paralizan la carga y descarga del buque, considerando todas las causas de paralización y todos los buques de la flota esperable en el atraque, en particular la causa de paralización por incompatibilidad de los movimientos del buque atracado con las operaciones de carga o descarga del buque por medios continuos. A estos efectos, existe una gran diferencia entre las operaciones de carga y descarga. En las operaciones de carga no existe contacto entre el buque y el utillaje por lo que son admisibles movimientos del buque mucho mayores que en las operaciones de descarga. Por dicha razón, las instalaciones de carga pueden construirse en zonas menos abrigadas que las instalaciones de descarga para los mismos niveles de operatividad. A falta de estudios más precisos de compatibilidad de los movimientos de los buques atracados con los equipos de carga y descarga considerados de acuerdo con los procedimientos establecidos en esta Recomendación o de especificaciones del fabricante del equipo, puede adoptarse con carácter general como valores de los agentes climáticos, cuando cada uno de ellos es el predominante y, por tanto, define el estado límite de realización de las operaciones de carga o descarga de graneles sólidos mediante sistemas continuos los consignados en la tabla 3.2.1.3, obtenidos considerando que los movimientos que producen en los buques atracados con condiciones de amarre estándar son los máximos admisibles usuales para equipos convencionales⁽⁴³⁾. En estos casos se considerará para la definición de las cargas, que actúa sobre el equipo cargador/descargador la velocidad y dirección del viento que da lugar a los máximos movimientos admisibles en el buque cuando para la definición del estado límite se adopte el viento como el agente predominante, siempre que dicha velocidad sea menor que el valor umbral de la misma que permite operar al equipo por razones intrínsecas de seguridad, o la velocidad y dirección del viento simultáneo compatible con el valor de la variable del agente climático u operativo que da lugar a los máximos movimientos admisibles del buque cuando ésta se adopta como predominante para la definición del estado límite en estas condiciones de trabajo operativas. A los efectos de las cargas transmitidas por estos equipos, únicamente se tomará en consideración esta última situación si la velocidad del viento compatible no supera el valor umbral más limitativo establecido en aquellos casos en que se considera que el viento es el agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado mediante sistemas continuos de manipulación de graneles sólidos.

(43) Para operaciones de carga en general son admisibles amplitudes de los movimientos horizontales del buque de vaivén del orden de hasta 5,0 m y de deriva del orden de hasta 2,5 m. Para operaciones de descarga son admisibles menores movimientos horizontales del buque de vaivén y deriva (1,0 m y 0,5 m respectivamente), así como verticales de alzada (hasta 1,0 m). Para más detalles, ver tabla 4.6.4.22.

La elección de las características de los equipos cargadores y descargadores se realizará considerando que se debe dar servicio a todas las escotillas de los buques que utilicen la instalación con las limitaciones impuestas por la configuración física de la obra de atraque, mediante uno o varios equipos, con los rendimientos exigidos. Las cargas transmitidas por los mismos se solicitarán al fabricante de acuerdo con los formatos y requerimientos señalados en las tablas 4.6.4.6 y 4.6.4.7 para el caso de grúas pórtico y grúas de contenedores en función del tipo de cargador/descargador adoptado.

En ausencia de información precisa obtenida a partir de datos suministrados por los fabricantes, disponer con carácter general de órdenes de magnitud de los valores característicos de las cargas transmitidas por estos equipos es difícil debido a la diversidad tipológica existente en el mercado. No obstante lo anterior, las cargas transmitidas por equipos cargadores o descargadores longitudinales pueden aproximarse del lado de la seguridad a las transmitidas por las grúas para contenedores de igual alcance máximo incluidas en la tabla 4.6.4.10.

En previsión de posibles variaciones razonables durante la vida útil en las condiciones de utilización y criterios de explotación de una obra de atraque para uso comercial de graneles sólidos en la que se prevea la carga o descarga del buque por medios continuos o de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, es recomendable que se adopten, en estos casos, las cargas mínimas establecidas en esta Recomendación para usos de graneles sólidos con instalación especial, cuando están previstos sistemas de manipulación de mercancías discontinuos por elevación (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.1).

El resumen de las cargas mínimas a adoptar en las áreas de operación de obras de atraque y amarre de uso comercial de graneles sólidos en las que esté prevista la carga y descarga del buque mediante sistemas continuos se incluye en la tabla 4.6.4.23. Para la verificación de los modos de fallo globales, con carácter general puede considerarse que las cargas debidas a los sistemas de transporte desde o hasta las áreas de almacenamiento (cintas transportadoras, tuberías, ...) desplegados en las áreas de operación están cubiertas ampliamente por las sobrecargas mínimas de estacionamiento y almacenamiento establecidas en esta Recomendación para dichas áreas para usos comerciales de graneles sólidos con sistemas de manipulación continuos (10 kN/m^2 de acuerdo con la tabla 4.6.4.4, considerando los efectos del viento compatibles).

En lo que respecta a la verificación de modos de parada operativa, el agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de carga y/o descarga con buque atracado es el agente "manipulación de graneles sólidos mediante sistemas continuos ($q_{v,232}$)" cuando la operativa de carga y/o descarga del granel sólido se realiza mediante este sistema de manipulación. A los efectos de verificar este modo de parada operativa se considerarán como valores umbral de los agente climáticos que limitan las operaciones de carga y descarga los definidos de acuerdo con lo dispuesto en este apartado para las condiciones de trabajo operativas. Para la verificación del nivel de operatividad de la instalación asociado a este modo de parada operativa será de aplicación lo dispuesto a estos efectos en apartado 4.1.1.3. Verificación de modos de parada operativa, así como en el epígrafe a_3 del apartado 4.6.4.2.1.1.1. Cargas transmitidas por equipos fijos y de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación.

4.6.4.2.2. MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS EN ÁREAS DE ALMACENAMIENTO ($q_{v,24}$)

El agente manipulación de mercancías en las áreas de almacenamiento está asociado con las cargas transmitidas por los equipos e instalaciones necesarios para la realización de las actividades de depósito, apilamiento, recogida y transporte de las mercancías en las áreas establecidas para su almacenamiento temporal para su ordenación y control con objeto de hacer posible con seguridad y eficiencia las operaciones de carga y descarga del buque, así como las actividades de transporte de las mercancías entre las áreas de operación y de almacenamiento y entre éstas u otras zonas dentro de la zona de servicio del puerto y las de transferencia con los modos de transporte terrestre utilizados para su entrega o recepción en puerto e incluso las de consolidación (grupaje) y desconsolidación de las mismas. No se incluyen en este apartado las cargas transmitidas por las instalaciones específicas de contención como tanques para graneles líquidos o silos para graneles sólidos, los cuales se considerará que forman parte de los agentes de estacionamiento y almacenamiento. Dichas instalaciones suelen llevar incorporados sistemas continuos de transferencia de las mercancías con el área de operación y desde o hasta los modos de transporte terrestre.

Tabla 4.6.4.22. Valores recomendados para los desplazamientos, giros y amplitudes máximos admisibles del buque atracado compatibles con las operaciones de carga y descarga de mercancías y de embarque y desembarque de pasajeros con equipos convencionales en condiciones seguras 1) 2)

TIPO DE BUQUE	SISTEMA DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS O DE EMBARQUE Y DESEMBARQUE DE PASAJEROS	VAIVÉN (m)	DERIVA (m)	ALTEADA (m)	GUIÑADA (m)	CABECEO (°)	BALANCE (°)
Petrolero	Continuo: brazo articulado	±3,5	3,0	–	–	–	–
Gasero	Continuo: brazo articulado	±2,0	2,0	–	±1	±1	±1
Granalero y polivalente	Discontinuo elevación: carga	±1,0	1,0	–	±1	±1	±1
	Discontinuo elevación: descarga	±0,5	0,5	±0,5	±1	±1	±1
	Continuo: carga	±2,5	2,5	–	±1,5	–	–
	Continuo: descarga	±0,5	0,5	±0,5	±1	±1	±1
Mercante de Carga General	Discontinuo: elevación	±1,0	1,5	±0,5	±1,5	±1	±2,5
Portacontenedores	Discontinuo: elevación	±0,5	0,6	±0,4	±0,5	±0,5	±0,5
Ro-Ro/Ferry/Transportador de coches 3)	M. rodantes: rampa lateral	±0,5	0,6	±1,2	±0,1	±1	±2,5
	M. rodantes: rampa 3/4	±0,5	0,6	±1,0	±0,8	±0,6	±1
	M. rodantes: rampa a proa o popa	±0,3	0,6	±1,0	±0,5	±0,6	±0,8
Ferry/Crucero	Pasarela embarque/desembarque de pasajeros	±0,4	0,8	±0,25	±0,1	±0,1	±0,1
Pesquero	Discontinuo: elevación	±0,5	1,0	±0,2	±1,5	±1,5	±1,5

Notas

- 1) Los máximos movimientos horizontales y verticales incluidos en esta tabla se consideran respecto a la situación de reposo del buque atracado, medidos en su centro de gravedad, excepto para el caso del movimiento de deriva que se corresponde con la distancia medida en la dirección de alejamiento del sistema de atraque (obra de atraque + defensa). Los giros también se consideran medidos alrededor de los ejes horizontales y vertical que pasan por su centro de gravedad, respecto a la situación de reposo.
- 2) Los valores reflejados en la tabla son válidos para movimientos del buque causados por viento, corrientes y oleajes; es decir para movimientos con periodos medios entre 10 y 20 s. para movimientos del buque amarrado con periodos mayores, así como en presencia de ondas largas podrán aceptarse valores mayores. A su vez, los datos de la tabla corresponden a buques de dimensiones medias en relación con el rango de los existentes de cada tipo (Ver tabla 4.6.4.34). Los movimientos admisibles tienden a ser más reducidos para los buques de mayores dimensiones que las correspondientes al buque medio y más amplios para los buques de menores dimensiones que éste.
- 3) Si un buque opera con tipos de rampa diferente, los movimientos deben entenderse para la operación de cada rampa específica.

Tabla 4.6.4.23. Resumen: sobre cargas mínimas de manipulación de mercancías en áreas de operación

		MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS EN ÁREAS DE OPERACIÓN					
		MEDIANTE SISTEMAS DISCONTINUOS POR ELEVACIÓN			MEDIANTE SISTEMAS DISCONTINUOS POR MEDIOS RODANTES	MEDIANTE SISTEMAS CONTINUOS	
		EQUIPOS FIJOS Y DE MOVILIDAD RESTRINGIDA (q _{v,211})	EQUIPOS DE MOVILIDAD NO RESTRINGIDA (q _{v,212})	EQUIPOS AUXILIARES DE TRANSPORTE Y DEPÓSITO (q _{v,213})	(q _{v,221})	PARA GRANELES LÍQUIDOS (q _{v,231})	PARA GRANELES SÓLIDOS (q _{v,232})
USO	BUQUE MÁXIMO DE PROYECTO	APARTADO 4.6.4.2.1.1.1	APARTADO 4.6.4.2.1.1.2	APARTADO 4.6.4.2.1.1.3	APARTADO 4.6.4.2.1.2.1	APARTADO 4.6.4.2.1.3.1	APARTADO 4.6.4.2.1.3.2
COMERCIAL							
GRANELES LÍQUIDOS	< 10.000 TPM	---	GRÚA MÓVIL 100/25 ¹⁾	---	---	BRAZOS ARTICULADOS PARA TUBERÍAS DE 8" ²⁾	---
	10.000-20.000 TPM	---		---	---	---	
	20.000-30.000 TPM	---		---	---	BRAZOS ARTICULADOS PARA TUB. 10" ²⁾	---
	30.000-40.000 TPM	---		---	---	BRAZOS ARTICULADOS PARA TUB. 12" ²⁾	---
	40.000-50.000 TPM	---		---	---	BRAZOS ARTICULADOS PARA TUB. 16" ²⁾	---
	> 50.000 TPM	---		---	---	BRAZOS ARTICULADOS PARA TUB. 20" ²⁾	---
GRANELES SÓLIDOS	SIN INSTALACIÓN ESPECIAL DE CARGA Y DESCARGA	< 2.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 60/25	GRÚA MÓVIL 100/25 ⁴⁾	---	---	---
		2.000-8.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 120/25		---	---	---
		8.000-15.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 160/30	GRÚA MÓVIL 150/30 ⁴⁾	---	---	---
		15.000-25.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 300/35	GRÚA MÓVIL 250/35 ⁴⁾	---	---	---
		25.000-50.000 TPM		GRÚA MÓVIL 300/40 ⁴⁾	---	---	---
		> 50.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 500/40	GRÚA MÓVIL 400/45 ⁴⁾	---	---	---
	CON INSTALACIÓN ESPECIAL DE CARGA Y DESCARGA ³⁾	< 10.000 TPM	GRÚA PORTACONTENEDORES TIPO 13	GRÚA MÓVIL 100/25 ⁴⁾	---	---	GRÚA PORTACONTENEDORES TIPO 13
		10.000-15.000 TPM		GRÚA MÓVIL 150/30 ⁴⁾	---	---	
		15.000-25.000 TPM		GRÚA MÓVIL 250/35 ⁴⁾	---	---	
		25.000-50.000 TPM		GRÚA MÓVIL 300/40 ⁴⁾	---	---	
		50.000-100.000 TPM		GRÚA MÓVIL 400/45 ⁴⁾	---	---	
		> 100.000 TPM		GRÚA PORTACONTENEDORES TIPO 16	GRÚA MÓVIL 500/50 ⁴⁾	---	
MERCANCÍA GENERAL CONVENCIONAL ORDINARIA	< 2.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 60/25	GRÚA MÓVIL 100/25	CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL DE 200 kN	---	---	---
	2.000-8.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 120/25			---	---	---
	8.000-15.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 160/30	GRÚA MÓVIL 150/30		---	---	---
	15.000-25.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 300/35	GRÚA MÓVIL 250/35		---	---	---
	25.000-50.000 TPM		GRÚA MÓVIL 300/40		---	---	---
	> 50.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 500/40	GRÚA MÓVIL 400/45		---	---	---

Resumen: cargas mínimas de manipulación de mercancías en áreas de operación (continuación)

		MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS EN ÁREAS DE OPERACIÓN						
		MEDIANTE SISTEMAS DISCONTINUOS POR ELEVACIÓN			MEDIANTE SISTEMAS DISCONTINUOS POR MEDIOS RODANTES	MEDIANTE SISTEMAS CONTINUOS		
		EQUIPOS FIJOS Y DE MOVILIDAD RESTRINGIDA (q _{v211})	EQUIPOS DE MOVILIDAD NO RESTRINGIDA (q _{v212})	EQUIPOS AUXILIARES DE TRANSPORTE Y DEPÓSITO (q _{v213})	(q _{v221})	PARA GRANELES LÍQUIDOS (q _{v231})	PARA GRANELES SÓLIDOS (q _{v232})	
USO	BUQUE MÁXIMO DE PROYECTO	APARTADO 4.6.4.2.1.1.1	APARTADO 4.6.4.2.1.1.2	APARTADO 4.6.4.2.1.1.3	APARTADO 4.6.4.2.1.2.1	APARTADO 4.6.4.2.1.3.1	APARTADO 4.6.4.2.1.3.2	
COMERCIAL								
MERCANCÍA GENERAL CONVENCIONAL PESADA	< 10.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 300/35	GRÚA MÓVIL 250/35	CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL DE 300 kN	---	---	---	
	10.000-15.000 TPM				---	---	---	
	15.000-25.000 TPM		---		---	---		
	25.000-50.000 TPM		GRÚA MÓVIL 300/40		---	---	---	
	> 50.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 500/40	GRÚA MÓVIL 400/45		---	---	---	
CONTENEDORES	> 3.000 TEU	GRÚA DE CONTENEDORES TIPO 13	GRÚA MÓVIL 250/35	APILADOR DE ALCANCE 450/300/150 kN	---	---	---	
	3.000-4.000 TEU		GRÚA MÓVIL 300/40		---	---	---	
	4.000-5.000 TEU	GRÚA DE CONTENEDORES TIPO 16	GRÚA MÓVIL 400/45		---	---	---	
	5.000-6.000 TEU	GRÚA DE CONTENEDORES TIPO 18	GRÚA MÓVIL 500/50		---	---	---	
	6.000-10.000 TEU	GRÚA DE CONTENEDORES TIPO 20			---	---	---	
	> 10.000 TEU	GRÚA DE CONTENEDORES TIPO 22			---	---	---	
RO-RO	INDEPENDIENTE DEL TAMAÑO DEL MÁXIMO BUQUE DE PROYECTO	---	GRÚA MÓVIL 100/25 ⁵⁾	CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL DE 300 kN	- CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL DE 300 kN - TRACTOR/ PLATAFORMA RODANTE DE 800 kN	---	---	
FERRIS	< 10.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 300/35 ⁵⁾	GRÚA MÓVIL 250/35 ⁵⁾	CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL DE 300 kN	TRACTOR/ PLATAFORMA RODANTE DE 800 kN ⁶⁾	---	---	
	10.000-15.000 TPM		---			---	---	
	15.000-25.000 TPM		---			---	---	---
	25.000-50.000 TPM		GRÚA MÓVIL 300/40 ⁵⁾			---	---	---
	50.000-100.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 500/40 ⁵⁾	GRÚA MÓVIL 400/45 ⁵⁾			---	---	---
> 100.000 TPM	---	GRÚA MÓVIL 500/50 ⁵⁾	---	---	---			
MULTIPROPÓSITO	< 10.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 300/35 ⁵⁾	GRÚA MÓVIL 250/35 ⁵⁾	CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL DE 300 kN	TRACTOR/ PLATAFORMA RODANTE DE 800 kN ⁶⁾	---	---	
	10.000-15.000 TPM		---			---	---	
	15.000-25.000 TPM		---			---	---	---
	25.000-50.000 TPM		GRÚA MÓVIL 300/40 ⁵⁾			---	---	---
	50.000-100.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 500/40 ⁵⁾	GRÚA MÓVIL 400/45 ⁵⁾			---	---	---
> 100.000 TPM	---	GRÚA MÓVIL 500/50 ⁵⁾	---	---	---			

Resumen: cargas mínimas de manipulación de mercancías en áreas de operación (continuación)

		MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS EN ÁREAS DE OPERACIÓN					
		MEDIANTE SISTEMAS DISCONTINUOS POR ELEVACIÓN			MEDIANTE SISTEMAS DISCONTINUOS POR MEDIOS RODANTES	MEDIANTE SISTEMAS CONTINUOS	
		EQUIPOS FIJOS Y DE MOVILIDAD RESTRINGIDA (q _{v,211})	EQUIPOS DE MOVILIDAD NO RESTRINGIDA (q _{v,212})	EQUIPOS AUXILIARES DE TRANSPORTE Y DEPÓSITO (q _{v,213})	(q _{v,221})	PARA GRANELES LÍQUIDOS (q _{v,231})	PARA GRANELES SÓLIDOS (q _{v,232})
USO	BUQUE MÁXIMO DE PROYECTO	APARTADO 4.6.4.2.1.1.1	APARTADO 4.6.4.2.1.1.2	APARTADO 4.6.4.2.1.1.3	APARTADO 4.6.4.2.1.2.1	APARTADO 4.6.4.2.1.3.1	APARTADO 4.6.4.2.1.3.2
CRUCEROS	INDEPENDIENTE DEL TAMAÑO DEL MÁXIMO BUQUE DE PROYECTO	---	GRÚA MÓVIL 100/25 ⁷⁾	---	---	---	---
PESQUERO	INDEPENDIENTE DEL TAMAÑO DEL MÁXIMO BUQUE DE PROYECTO	---	GRÚA MÓVIL 100/25 ⁷⁾	---	---	---	---
NÁUTICO-DEPORTIVO	INDEPENDIENTE DEL TAMAÑO DEL MÁXIMO BUQUE DE PROYECTO	---	GRÚA MÓVIL 100/25 ⁷⁾	---	---	---	---
INDUSTRIAL O MILITAR ⁸⁾	< 10.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 300/35 ^{5) 7)}	GRÚA MÓVIL 250/35 ^{5) 7)}	CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL DE 300 kN	---	---	---
	10.000-15.000 TPM				---	---	---
	15.000-25.000 TPM		---		---	---	
	25.000-50.000 TPM	GRÚA MÓVIL 300/40 ^{5) 7)}	---		---	---	
	50.000-100.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 500/40 ^{5) 7)}	GRÚA MÓVIL 400/45 ^{5) 7)}		---	---	---
> 100.000 TPM	GRÚA MÓVIL 500/50 ^{5) 7)}		---	---	---		

Notas

- 1) Únicamente en obras de atraque y amarre accesibles al tráfico rodado, tanto si la carga o descarga del buque es mediante sistemas continuos como discontinuos.
- 2) Únicamente en obras de atraque y amarre fijas.
- 3) Se considera a estos efectos instalación especial de carga y descarga de graneles sólidos a los sistemas de manipulación continuos y a los discontinuos por elevación mediante pórticos de descarga con cuchara.
- 4) Únicamente en obras de atraque y amarre accesibles al tráfico rodado, tanto si la carga o descarga del buque es mediante sistemas continuos como discontinuos.
- 5) No se considerará la actuación de esta carga en los tacones o rampas necesarios para acceder al buque desde la coronación de la obra de atraque.
- 6) Deberán además considerarse las cargas mínimas debidas a equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito establecidos para este uso en los casos de sistemas discontinuos de carga y descarga del buque por elevación.
- 7) Únicamente en obras de atraque y amarre accesibles al tráfico rodado.
- 8) Las cargas mínimas consignadas para usos industrial y militar serán de aplicación a estos usos con carácter general. No obstante, en el caso de que los usos industrial o militar sean más específicos y se refieran exclusivamente a la manipulación de graneles líquidos, sólidos o cualquier otro uso equivalente a los usos comerciales, se aplicarán como cargas mínimas las correspondientes a dicho uso.

En función de su variabilidad espacial se distinguirán los siguientes equipos e instalaciones de manipulación de mercancías en áreas de almacenamiento:

- ◆ Equipos de apilamiento, recogida o intercambio modal de movilidad restringida (q_{v,241}) como pórticos, puentes grúa, máquinas apiladoras o recogedoras, instalaciones de carga y descarga de vagones, ..., bien

fijos o que circulan sobre carriles o sobre neumáticos con movimientos canalizados sobre bandas longitudinales o circulares.

- ◆ Equipos de apilamiento, recogida o intercambio modal de movilidad no restringida ($q_{v,242}$), como grúas móviles.
- ◆ Equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito sobre neumáticos de movilidad no restringida ($q_{v,243}$), como carretillas elevadoras frontales o laterales, carretillas puente o pórtico (straddle carriers), apiladores de alcance (reach stackers), ..., e incluso, unidades tractor-plataformas rodantes utilizadas para la carga y descarga del buque por medios rodantes si se utilizan estos equipos para el traslado de las mercancías desde las áreas de operación hasta las de almacenamiento o viceversa.

Salvo para los equipos fijos y de movilidad restringida, la distribución espacial de las cargas transmitidas por estos equipos se considera libre, limitada únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la instalación. En el caso de los equipos de movilidad restringida se considerará libre en las bandas de circulación establecidas. Se adoptará aquella distribución que produzca los efectos más desfavorables para el modo de fallo analizado.

La utilización de cada uno de estos equipos no es excluyente y puede ser simultánea en función de las condiciones de explotación y de la organización de la operativa establecidas. En la práctica, en función del tipo de mercancía, de la composición de los tráficos (importación, exportación o tránsito), del sistema de entrega/recepción de las mercancías (viario, ferroviario o navegación interior), del sistema adoptado para la carga y descarga del buque, de las características físicas del área de almacenamiento (dimensiones, configuración y alejamiento del área de operación) y de las condiciones de depósito o apilamiento adoptadas pueden considerarse sistemas de manipulación combinados formados por varios equipos tanto fijos y de movilidad restringida como no restringida de actuación simultánea. Además es previsible su variación a lo largo de la vida útil de la instalación. Los sistemas y equipos de manipulación de mercancías en el área de almacenamiento y las características de los mismos serán definidos por el Promotor tomando en consideración los aspectos citados. En general, los equipos utilizados para cada uso en dicha área son los siguientes:

- ◆ **Para usos comerciales de graneles líquidos**, el transporte desde el buque al área de almacenamiento y viceversa suele realizarse mediante sistemas continuos (tuberías) hasta tanques de almacenamiento. Así mismo, la transferencia de la carga a o desde los modos de transporte terrestre se realiza mediante instalaciones especiales de carga y descarga y sistemas de transporte continuo.
- ◆ **Para usos comerciales de graneles sólidos**, cuando la mercancía descargada del buque alcance el área de almacenamiento mediante sistemas de transporte continuos (cinta transportadora, tubería), las operaciones de apilamiento se realizan mediante máquinas apiladoras, en general de movilidad restringida, formadas por brazos móviles que permiten que dichos sistemas de transporte alcancen los distintos puntos de apilamiento. De igual forma, cuando la carga del buque se hace por medios continuos se utilizan máquinas recogedoras, también generalmente de movilidad restringida, que permiten alimentar los sistemas continuos de transporte hacia el área de operación mediante procedimientos mecánicos (cangilones,...) o neumáticos. Existen máquinas combinadas que permiten realizar ambas funciones de apilamiento y recogida. Aunque poco común y únicamente para volúmenes de carga pequeños, si el transporte del granel desde o hasta el área de almacenamiento para su carga o descarga en el buque se hace por medios discontinuos (camiones), las operaciones de apilamiento o recogida se realizan normalmente mediante palas o grúas móviles. Por otra parte, la transferencia de la carga a los modos de transporte terrestre desde o hasta el área de apilamiento suele realizarse de forma equivalente, bien mediante instalaciones especiales de carga y descarga y sistemas de transporte continuo (especialmente con el modo ferroviario) o sistemas discontinuos [palas o grúas móviles más camiones volquete (dumpers)].
- ◆ **Para usos comerciales de mercancía general convencional, cargada o descargada del buque mediante sistemas discontinuos por elevación**, tanto las operaciones de apilamiento y recogida como las de transferencia con los modos de transporte terrestre en el área de almacenamiento se realizan con los equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito sobre neumáticos de movilidad no restringida, especialmente las carretillas elevadoras frontales y los apiladores de alcance. El transporte

horizontal desde o hasta el área de operación suele realizarse con estos mismos equipos o mediante sistemas tractor-remolque.

- ◆ **Para usos comerciales de contenedores** las operaciones de apilamiento y recogida, así como las de transferencia con los modos de transporte terrestre, se realizan en el área de almacenamiento mediante los siguientes sistemas:
 - *Sistema tractor-remolque*, en el cual los contenedores son manipulados y apilados sobre plataformas o semirremolques aptos para su circulación por carretera. El transporte horizontal de los mismos en el área de almacenamiento y entre ésta y el área de operación se realiza mediante unidades tractoras.
 - *Sistema carretilla puente, pórtico o lanzadera (straddle carrier)*, en el cual los contenedores son apilados, recogidos, transferidos desde o hasta los modos de transporte terrestre y transportados horizontalmente en el área de almacenamiento mediante carretillas pórtico o lanzadera. El transporte horizontal de los mismos entre el área de almacenamiento y el área de operación puede realizarse mediante los mismos equipos (sistema directo) o mediante otros equipos auxiliares de transporte horizontal, especialmente mediante unidades tractor-remolque (sistema indirecto).
 - *Sistema de pórticos*, en el cual los contenedores son apilados, recogidos y transferidos desde o hasta los modos de transporte terrestre mediante equipos de movilidad restringida como grúas pórtico sobre neumáticos ⁽⁴⁴⁾, grúas pórtico sobre carriles ⁽⁴⁵⁾ o puentes grúas ⁽⁴⁶⁾. El transporte horizontal de los mismos en el área de almacenamiento o entre ésta y el área de operación se realiza mediante unidades tractor-remolque, sistemas multiplataformas (MTS), carretillas lanzadera (Shuttle carriers) o vehículos automáticos autoguiados (AGV).
 - *Sistema de carretillas elevadoras/apiladoras (forklift truck/reach stackers)*, en el cual los contenedores son apilados, recogidos y transferidos desde o hasta los modos de transporte terrestre mediante carretillas elevadoras, apiladoras o combinaciones de ambas. El transporte horizontal de los mismos entre el área de almacenamiento y operación puede realizarse mediante los mismos equipos (sistema directo) o mediante otros equipos auxiliares de transporte horizontal como las unidades tractor-remolque (sistema indirecto).
 - *Sistema mixto*, en el cual se utilizan para las operaciones en el área de almacenamiento una combinación de pórticos, carretillas puente y otros equipos auxiliares simultáneamente, cada uno de ellos para una función específica.
- ◆ **Para usos comerciales de mercancía general cargada o descargada del buque por medios rodantes (instalaciones ro-ro y ferris)**, cuando las operaciones de carga y descarga del buque se hacen de forma autopropulsada (camiones con semirremolques, turismos como mercancía, ...) o no autopropulsada aunque utilizando remolques y semirremolques de carretera no son necesarios equipos de manipulación en el caso de que se prevean áreas de almacenamiento asociadas, salvo las unidades tractoras necesarias para el traslado de los remolques y semirremolques entre estas áreas y las de operación. Cuando las operaciones de carga y descarga del buque no son autopropulsadas utilizando plataformas rodantes de bajo gálibo (roll trailers) o sin ruedas (cassettes), tanto las operaciones de apilamiento y recogida como las de transferencia con los modos de transporte terrestre en el área de almacenamiento se realizan con los equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito sobre neumáticos de movilidad no restringida, especialmente las carretillas elevadoras frontales y los apiladores de alcance. El transporte horizontal entre el área de operación y almacenamiento suele realizarse con estos mismos equipos o, si no están muy alejadas (< 500 m), remolcando las plataformas rodantes mediante las unidades tractoras utilizadas para la carga y descarga del buque.
- ◆ **Para usos comerciales multipropósito**, al poderse realizar las operaciones de carga y descarga del buque tanto por elevación como por medios rodantes, los equipos de manipulación a considerar en las

(44) En terminología inglesa los pórticos sobre neumáticos se denominan Rubber Tyred Gantry Cranes (RTG). Cuando están automatizados se denominan Automatic Stacking Cranes (ASC).

(45) En terminología inglesa los pórticos sobre carriles se denominan Rail Mounted Gantry Cranes (RMG)

(46) En terminología inglesa los puentes grúa se denominan OverHead Bridge Cranes (OHBC).

áreas de almacenamiento asociadas serán en general carretillas elevadoras frontales y apiladores de alcance. El transporte horizontal entre las áreas de operación y almacenamiento se realizarán con estos mismos equipos, con sistemas tractor-plataforma, remolcando, en su caso, las plataformas rodantes o de forma autopropulsada.

Las cargas a tomar en consideración debidas a los equipos de manipulación en áreas de almacenamiento ($q_{v,24}$), los factores que influyen en las mismas, los parámetros que las definen, su distribución espacial y los criterios para la obtención de sus valores representativos y, en su caso, sus funciones de distribución son equivalentes a los definidos para los mismos equipos en las áreas de operación (Ver apartados 4.6.4.2.1.1.2, 4.6.4.2.1.1.3 y 4.6.4.2.1.2.1). Asimismo, para los equipos específicos de movilidad restringida que se utilizan en las áreas de almacenamiento se adoptarán criterios equivalentes a los de los equipos de movilidad restringida en áreas de operación (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.1), con las simplificaciones que en su caso sean necesarias debidas a la configuración geométrica del equipo [por ejemplo, ausencia de brazo o pluma en los pórticos sobre neumáticos o raíles (RTG/RMG/ASC)]. No obstante, en este caso las condiciones de trabajo operativas se considerarán las correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de depósito, apilamiento, recogida y transporte en el área de almacenamiento, definiéndose para la velocidad límite del viento que permite dicha operación en condiciones de seguridad. A falta de otros criterios, se adoptará como viento límite aquél cuya velocidad media en el intervalo (ráfaga) de 3 s a 10 m de altura sea 24 m/s. En el caso que se considere que la actuación de estos equipos puede ser relevante para la verificación de otras condiciones de trabajo operativas de la instalación distintas a las de depósito, apilamiento, recogida y transporte en el área de almacenamiento, así como de condiciones de trabajo extremas y excepcionales, se adoptará la velocidad de viento que corresponda a estas condiciones, tomando en consideración la situación en la que se encuentra la configuración de cada equipo cuando se presenta dicha velocidad de viento (en servicio o no).

Las cargas transmitidas por los equipos de manipulación de mercancías en las áreas de almacenamiento se considerarán compatibles con las debidas a las de almacenamiento de mercancías y al tráfico terrestre. En general, para la verificación de modos de fallo globales será suficiente únicamente considerar en las áreas de almacenamiento conjuntamente las sobrecargas repartidas de almacenamiento o de tráfico terrestre con las cargas debidas a equipos de manipulación fijos y de movilidad restringida en su banda de actuación cuando esté previsto la utilización de este tipo de equipos, sin perjuicio de que se analice para cada caso particular la relevancia para los mismos de las combinaciones simplificadas indicadas en esta Recomendación asociadas con la manipulación de mercancías en el área de operación (Ver apartado 4.6.4.2.1). Para la verificación de modos de fallo locales deberán tomarse en consideración alternativamente las cargas concentradas más desfavorables transmitidas tanto por las mercancías almacenadas y el tráfico terrestre como las transmitidas por todos los equipos de manipulación considerados. A estos efectos no se considerará la actuación simultánea de este tipo de cargas cuando correspondan a diferentes equipos o elementos.

En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados por el Fabricante para los equipos previstos por el Promotor, podrán adoptarse como órdenes de magnitud indicativos de los valores representativos de las cargas transmitidas por equipos considerados actualmente como estándar los consignados en las tablas 4.6.4.14 para grúas móviles, en las tablas 4.6.4.14 y 4.6.4.19 para equipos auxiliares de transporte y depósito, en la tabla 4.6.4.24 para pórticos sobre neumáticos (RTG) o sobre carriles (RMG) y en la tabla 4.6.4.25 para camiones volquetes. Para otros equipos de movilidad restringida de depósito, apilamiento y recogida, particularmente los utilizados para graneles sólidos, es difícil dar órdenes de magnitud de las cargas transmitidas debido a la diversidad tipológica existente en el mercado.

◆ **Cargas mínimas**

Aunque las cargas transmitidas por los equipos de manipulación de mercancías en las áreas de almacenamiento pueden ser muy distintas en función de las condiciones de explotación establecidas, en previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación durante la vida útil o de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, es recomendable que se adopten como mínimo en las áreas de almacenamiento asociadas a instalaciones de atraque y amarre las cargas de manipulación adoptadas para su área de operación en lo

que respecta a equipos de movilidad no restringida y equipos auxiliares de transporte y depósito. Por tanto, en el caso de que se adopten las cargas mínimas, serán de aplicación a las áreas de almacenamiento las cargas consignadas en la tabla 4.6.4.23 para equipos de movilidad no restringida y para equipos auxiliares de transporte y depósito en función del uso de la instalación adoptada, del buque máximo de proyecto y del sistema de carga y descarga del buque adoptado.

En lo que respecta a la verificación del modos de parada operativa, el agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de las operaciones de depósito, apilamiento, recogida y transporte en el área de almacenamiento es el agente “manipulación de mercancías en áreas de almacenamiento ($q_{v,24}$). A los efectos de verificar este modo de parada operativa se considerarán como valores umbral de las variables de los agentes climáticos que limitan estas operaciones, para cada una de las posibles causas de paralización de estas operaciones en el emplazamiento, los definidos de acuerdo en lo dispuesto en este apartado para las condiciones de trabajo operativas. Para la verificación del nivel de operatividad de la instalación asociado a este modo de parada operativa será de aplicación lo dispuesto a estos efectos en el apartado 4.1.1.3. Verificación de modos de parada operativa, así como en los epígrafes correspondientes a esta verificación de los apartados 4.6.4.2.1.1.1 a 4.6.4.2.1.1.3, considerando únicamente aquellas causas de paralización no dependientes de la interfase con el buque.

Tabla 4.6.4.24. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por pórticos sobre neumáticos (RTG) o carriles (RMG) estándar para áreas de almacenamiento 10)

TIPO DE PÓRTICO						
DESPLAZAMIENTO		SOBRE NEUMÁTICOS (RTG)			SOBRE CARRILES (RMG) ¹⁾	
CARACTERÍSTICAS PÓRTICO	Capacidad de carga bajo spreader (kN)	400			400-500	
	Máx altura de elevación bajo spreader	Nº contenedores	3+1	4+1	5+1	3+1 a 8+1
		m	12,5	15,5	18,5	12,5 a 28,0
Peso (kN)	800			1200	1500	1600-3500 ²⁾
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Distancia entre ejes bandas circular (G_1)	Nº contenedores	5+calzada	6+calzada	7+calzada	6 a 20
		m	20,7	23,5	26,5	20,7 a 60
	Alcance de voladizos (G_2)	Nº contenedores	–	–	–	0 a 3 en l ó ambos lados
		m	–	–	–	0 a 15 en l ó ambos lados
Separación (W) entre patas (m)	7,4			7,4	7,4	15-17
Nº de ruedas por pata (n)	1 ³⁾			2 ⁴⁾	2 ⁴⁾	2 a 4 ²⁾

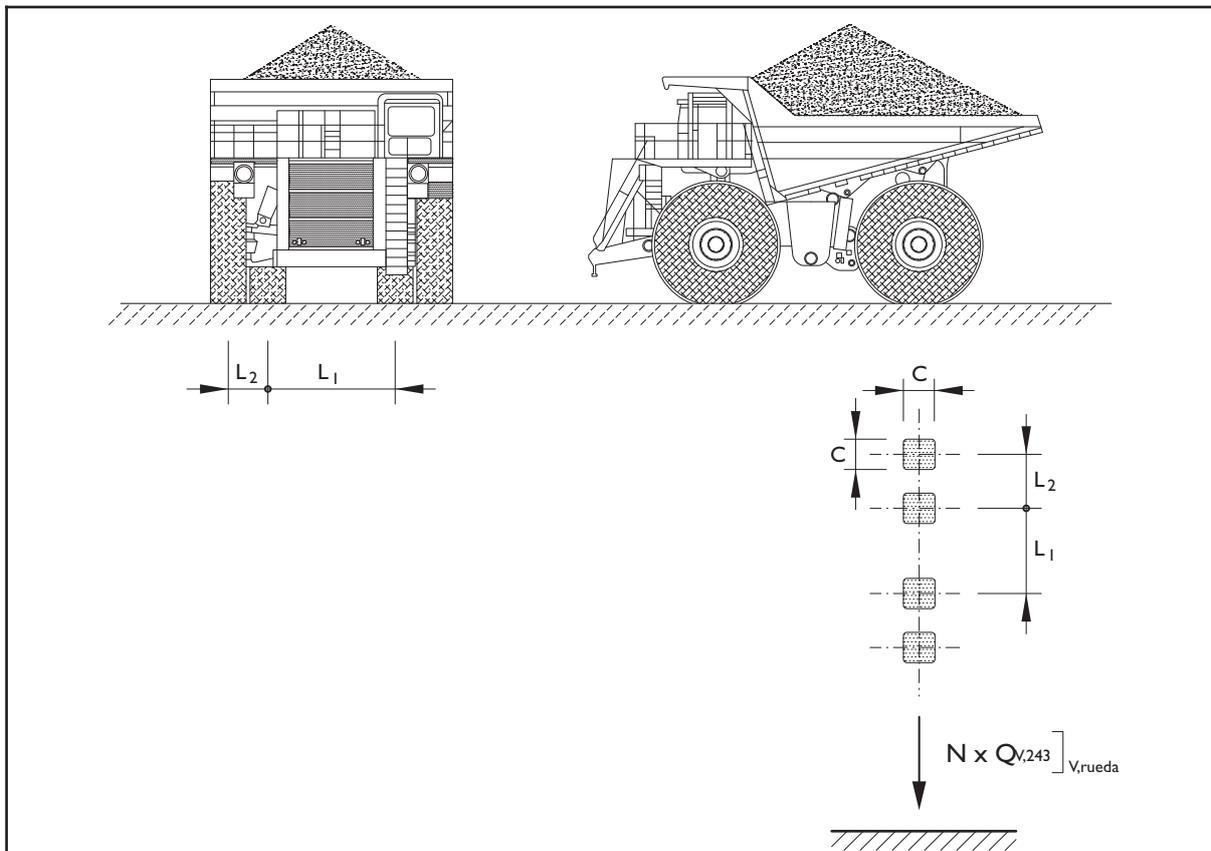
Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por pórticos sobre neumáticos (RTG) o carriles (RMG) estándar para áreas de almacenamiento ¹⁰⁾ (continuación)

TIPO DE PÓRTICO						
DESPLAZAMIENTO		SOBRE NEUMÁTICOS (RTG)			SOBRE CARRILES (RMG) ¹⁾	
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Separación (S) de ruedas (m)	–	2,5	2,5	1,1 a 1,5	
	Distancia (B) entre topes (m)	11	14	14	20 a 25	
	Dimensiones (cxc) del área de contacto (m x m)	5)	5)	5)	–	
MÁXIMA CARGA POR RUEDA (kN) ⁶⁾	En condiciones de Operación ⁷⁾	Vertical	530	320	360	300-320
		Horizontal ⁹⁾	65	40	45	45-50
	En condiciones Extremas y Excepcionales debidas a viento extraordinario ⁸⁾	Vertical	225	170	210	230-250
		Horizontal ⁹⁾	40	25	30	40-45

Notas

- 1) Los pórticos sobre carriles (RMG) se distinguen de los pórticos sobre neumáticos (RTG) principalmente por alcanzar mayores separaciones entre bandas de rodadura, permitiendo el almacenamiento de hasta 20 filas de contenedores, así como por disponer de voladizos laterales en uno o ambos lados del pórtico. En algunos casos incluso estos voladizos pueden ser mayores que los considerados estándar (hasta 15 m), utilizándose no únicamente en el área de almacenamiento sino simultáneamente para la carga y descarga por elevación de buques de tamaño pequeño (barcazas y feeder). Las tipologías existentes de este tipo de pórticos son, por tanto, muy variadas y de difícil sistematización por lo que se incluye únicamente en la tabla los rangos de variación estándar de cada uno de los parámetros. En general, los primeros valores de cada rango se refieren a los pórticos de menor altura y distancia entre caniles, siendo los finales correspondientes a los pórticos de mayor luz y altura.
- 2) Equipos más pesados (hasta 6500 kN) están también disponibles en el mercado. En este caso se suelen disponer hasta 16 ruedas por banda de rodadura con el objeto de mantener las cargas por rueda en los órdenes de magnitud consignados en esta tabla. Bajo cada pata se mantiene el carretón con cuatro ruedas, introduciéndose dos nuevos carretones con cuatro ruedas en el espacio libre entre patas.
- 3) Este tipo de equipo también está disponible en el mercado con 2 ruedas por pata (8 en todo el equipo), siendo de aplicación la configuración geométrica de separación de ruedas definidas para los equipos con este número de ruedas por pata. Las cargas máximas en este caso deberán dividirse por 2 respecto a las consignadas en esta tabla.
- 4) Este tipo de equipo también está disponible en el mercado con 4 ruedas por pata (16 en todo el equipo). En este caso se dispone doble rueda en la dirección perpendicular a la banda de circulación, manteniéndose la separación de ruedas en la dirección de circulación. Las cargas máximas en este caso deberán dividirse por 2 respecto a las consignadas en esta tabla. Puede observarse que las cargas transmitidas por los equipos con 16 ruedas están cubiertas por las transmitidas por el tráfico terrestre viario, no siendo necesario un dimensionamiento específico de las bandas de circulación.
- 5) Para obtener las dimensiones del área de contacto pueden considerarse presiones del orden de 1000 kN/m².
- 6) Las cargas máximas por rueda consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud para cada tipo de pórtico, habiéndose obtenido del análisis de las correspondientes a diferentes fabricantes. Dependiendo del fabricante puede variar de forma significativa tanto la configuración geométrica como las cargas máximas por rueda, por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si esto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse por los equipos, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación.
- 7) Considerando una velocidad del viento en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 24\text{ m/s}$ ($\approx 86\text{ km/h}$) en dirección transversal a la banda de circulación, incluyendo los efectos inerciales asociados al movimiento de la carga y del equipo (traslación o frenada). No se tienen en cuenta los efectos debidos a posibles giros de los equipos sobre neumáticos (RTG). En las zonas en las que se produzca giros de estos equipos puede considerarse que las cargas transmitidas son un 30% superiores a las consignadas en la tabla. Definidas las cargas verticales en las ruedas de las patas más cargadas, las cargas en las ruedas de las otras patas pueden obtenerse considerando que la suma de todas las cargas transmitidas debe igualar a la suma de las cargas verticales actuantes (peso propio+máxima carga izada+efectos inerciales). Los efectos inerciales pueden estimarse como el 15% de la máxima carga izada. Para otra velocidad del viento se calculará de acuerdo con lo dispuesto en la cláusula 3) de la tabla 4.6.4.10.
- 8) Considerando una velocidad del viento en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 40\text{ m/s}$ ($\approx 144\text{ km/h}$) en dirección transversal a la banda de circulación. Para la determinación de la carga máxima para otra velocidad del viento puede utilizarse el procedimiento simplificado consignado en la tabla 4.6.4.10. Definidas las cargas verticales por rueda en las patas más cargadas, las correspondientes a las otras patas pueden obtenerse considerando que la suma de todas las cargas debe igualar a las cargas verticales actuantes (peso propio).
- 9) Carga horizontal en dirección transversal a la dirección de rodadura, concordante con la dirección de actuación del viento. Definidas las cargas horizontales en las patas más cargadas, puede considerarse que sobre las otras patas actúa la misma carga horizontal. En condiciones de operación, la componente de la acción horizontal debida al viento puede aproximarse a la acción horizontal en condiciones extremas incluida en la tabla dividida por el coeficiente 2.78 $[40^2/24^2]$. En condiciones de operación debe considerarse que también actúa simultáneamente una acción horizontal adicional en la dirección de la banda de rodadura, causada por los movimientos del equipo (traslación o frenada), igual al 15% de las cargas verticales. No están incluidos en este valor los efectos debidos a los giros.
- 10) Los otros valores representativos (de combinación, frecuente y cuasipermanente) tanto en condiciones del equipo en servicio como fuera de servicio pueden obtenerse de acuerdo con lo consignado a estos efectos en la nota 6) de la tabla 4.6.4.10.

Tabla 4.6.4.25. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por camiones volquete estándar (Dumper) 4)



TIPO DE CAMIÓN VOLQUETE			
Capacidad de carga (kN)			2000 2400 4000
CARACTERÍSTICAS DE EQUIPO	Peso (kN)		1500 1550 2300
	Nº ruedas (N)		4 4 4
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL EJE MÁS CARGADO	Separación (L_1) centros ruedas int (m)		3,7 3,7 3,9
	Separación (L_2) centros ruedas ex/in (m)		1,1 1,2 1,75
	Dimensiones (cxc) área contacto (m x m)		1) 1) 1)
MÁXIMA CARGA POR RUEDA EN EJE MÁS CARGADO (kN) 4)	Sin operación	Vertical	250 250 350
		Horizontal	0,05 Vert 0,05 Vert 0,05 Vert
	En condiciones de operación 5)	Vertical	650 750 1100
Carga vertical uniforme equivalente (kN/m ²)			30 35 45

Notas

- 1) Para obtener las dimensiones del área de contacto pueden considerarse presiones del orden de 1000 kN/m².
- 2) Las cargas máximas consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud, habiéndose obtenido del análisis de las correspondientes a varios fabricantes. Dependiendo del fabricante pueden variar de forma significativa, por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si esto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación. Las máximas cargas por rueda incluyen la amplificación dinámica y los efectos inerciales debidos a la traslación y frenada, aunque no el giro. En las zonas en las que se produzca el giro de estos equipos puede considerarse que las cargas transmitidas son un 30% superiores a las consignadas en esta tabla.
- 3) Acción horizontal en la dirección de circulación del equipo.
- 4) Puede considerarse como suficientemente aproximado adoptar como valor cuasi-permanente de las cargas transmitidas por los equipos incluidos en esta tabla 0,90 el valor de las componentes verticales en condiciones de operación. La acción horizontal de actuación simultánea se considerará nula.

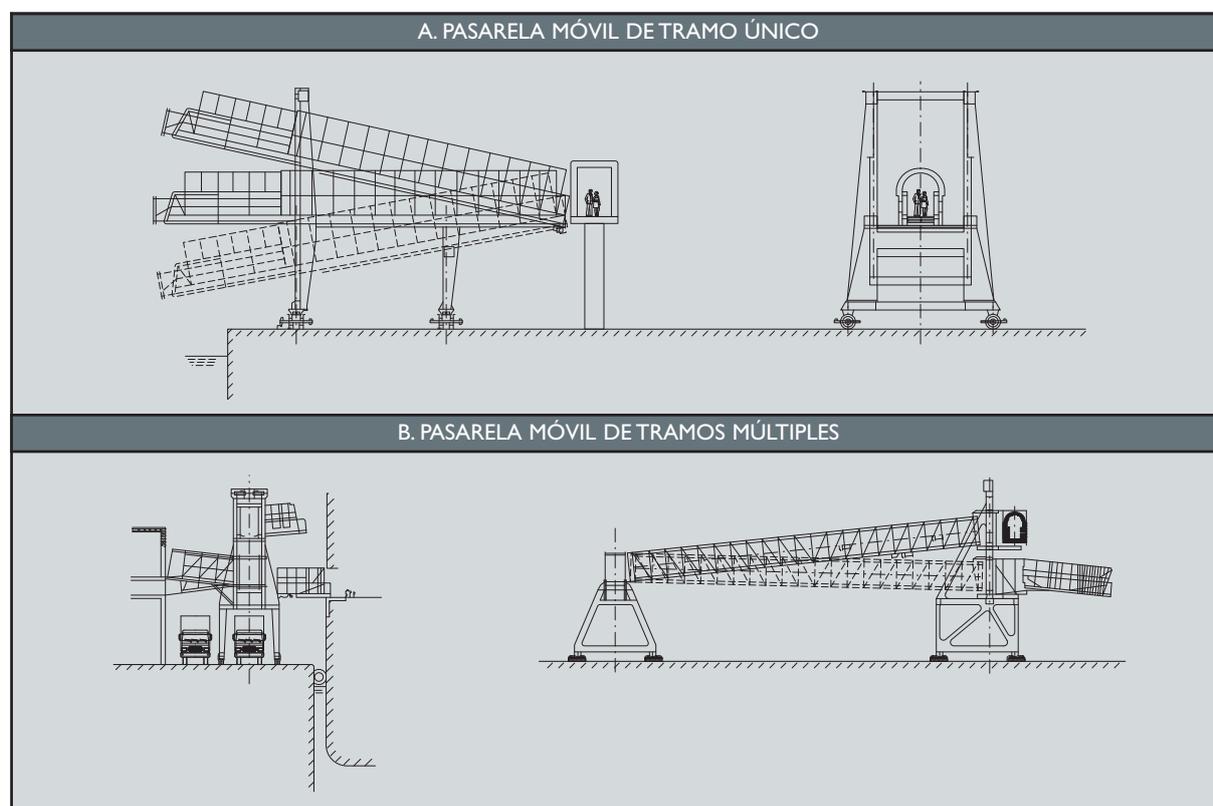
4.6.4.2.3. EMBARQUE Y DESEMBARQUE DE PASAJEROS ($q_{v,25}$)

El agente embarque y desembarque de pasajeros está asociado con las cargas transmitidas por los equipos e instalaciones que permiten el acceso de los pasajeros y de los equipajes desde la estación marítima o la superficie de la obra de atraque y amarre a los buques de pasaje y viceversa, en condiciones de seguridad.

La actuación de este agente se considerará limitada a las obras de atraque y amarre para usos comerciales de pasajeros, tanto para ferris como para cruceros y otras embarcaciones de pasajeros.

Es recomendable que el acceso de los pasajeros a los buques se realice a través de instalaciones que finalicen en pasarelas elevadas que independicen el movimiento de los pasajeros del tráfico viario y de otras actividades portuarias que se desarrollan en el área de operación de la obra de atraque y amarre. La tipología, características y dimensiones de este tipo de instalaciones son muy variadas. En general suelen estar formadas por instalaciones fijas elevadas que permiten a los pasajeros alcanzar la zona de operación de la obra de atraque desde la estación marítima sin interferencias, complementadas en su tramo final por una o una serie de pasarelas conectadas sustentadas en pórticos de movilidad restringida circulando normalmente sobre carriles, aunque también pueden circular sobre bandas de circulación utilizando ruedas macizas. Estos pórticos tienen normalmente limitación de movimientos, bien según una banda de circulación paralela a la línea de atraque, bien según un arco circular, con el objeto de compatibilizar la instalación fija y la posición en planta de los portalones de la flota de buques esperable en cada atraque y en cada momento. Una vez alineados con el portalón del buque, estos pórticos permiten un cierto rango de movimientos verticales y horizontales de las pasarelas para su total adaptación a las diferentes alturas de los portalones de la flota de buques esperable en el atraque y a los movimientos de los buques atracados en las condiciones climáticas en el emplazamiento consideradas como operativas, particularmente las que afectan a los niveles de las aguas exteriores (Ver figura 4.6.4.3).

Figura 4.6.4.3. Ejemplos de equipos para el embarque y desembarque de pasajeros



Los equipos para el embarque y desembarque de pasajeros deberán ser definidos por el Promotor, tomando en consideración el tamaño y composición de la flota de buques esperable en el atraque, la cota de acceso de los pasajeros al área de operación, bien directamente desde la estación marítima bien a través de una instalación fija elevada, la anchura del área de operación y los niveles de variación de las aguas exteriores, con el objeto de mantener en todas las condiciones que se definan como operativas el acceso al buque con pendientes en valores seguros y confortables para los pasajeros ⁽⁴⁷⁾. En general, los equipos formados por una pasarela de tramo único se utilizarán cuando el tamaño y composición de la flota de buques de proyecto sea relativamente homogénea, como en el caso de obras de atraque para ferris, siempre que la zona de operación no sea muy estrecha y la variación de los niveles de las aguas exteriores no sea relevante. Cuando el ancho del área de operación sea reducido, los niveles de variación de las aguas exteriores significativos o el tamaño y composición de la flota de buques de proyecto muy heterogéneo que den lugar a un amplio espectro de alturas de portalón, suelen utilizarse pasarelas de tramos múltiples que permiten mayores desarrollos y, por tanto, mayores niveles de adaptabilidad a las condiciones locales. Este último caso es común en las obras de atraque para cruceros o polivalentes ferris-cruceros, dado que, independientemente de los otros factores, en estos casos en general la composición de la flota suele ser muy heterogénea (Ver figura 4.6.4.3).

Dadas las características de los equipos más comunes para el embarque y desembarque de pasajeros, las cargas a tomar en consideración transmitidas por estos equipos ($q_{v,25}$), los factores que influyen en las mismas, los parámetros que las definen, su distribución espacial y los criterios para la obtención de sus valores nominales o de sus valores representativos y, en su caso, sus funciones de distribución son equivalentes a las definidas para los equipos de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación, con las simplificaciones que sean necesarias asociadas con la diferente configuración geométrica del equipo y a la no existencia de efectos debidos a distintas posiciones de la pluma y de la carga manipulada (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.1).

Como condiciones de trabajo operativas se considerarán las correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros, definiéndose los estados límites a partir de la adopción como variables predominantes los valores de la velocidad del viento que paraliza las operaciones por condiciones de seguridad del equipo y de la operación, o los valores de las variables de los agentes del medio físico que dan lugar a movimientos del buque atracado o a desniveles entre el portalón y la pasarela que impidan las operaciones de embarque y desembarque o no sean compatibles con las condiciones exigibles de seguridad o confort para los pasajeros en el rango de variación de los niveles de las aguas exteriores considerado como operativo (pendientes de la pasarela menores que las máximas admisibles (Ver nota 47).

Cuando se adopte como agente predominante para definir un estado límite en estas condiciones de trabajo el viento, a los efectos de definición de las cargas se adoptará el menor valor de la velocidad del viento de entre los que limiten estas operaciones, considerando todas las causas de paralización de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros y todos los buques de la flota esperable en el atraque.

Cuando el agente predominante adoptado para la definición del estado límite no sea el viento, para la definición de las cargas en esta situación se adoptará la velocidad y dirección del viento compatible con el valor del agente considerado como predominante en el estado meteorológico (Ver apartado 4.6.2.1. Agentes climáticos). Estos estados límites deberán tomarse en consideración por si pudieran ser globalmente más desfavorables para el modo de fallo analizado considerando todas las cargas de actuación simultánea, aunque sean más limitativos en lo que respecta a la velocidad del viento. A estos efectos, únicamente se tomarán en consideración estas últimas situaciones si la velocidad del viento compatible con las mismas no supera el valor umbral más limitativo establecido en aquellos casos en que se considera que el viento es el agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros.

(47) En general, deben preverse equipos para el embarque y desembarque de pasajeros que permitan el acceso al buque de personas con discapacidad o movilidad reducida que precisan pendientes no superiores al 5%. En todo caso, con el objeto de garantizar la seguridad y confortabilidad del pasaje, en condiciones operativas las pendientes de las pasarelas de embarque y desembarque de pasajeros no serán superiores del 12%.

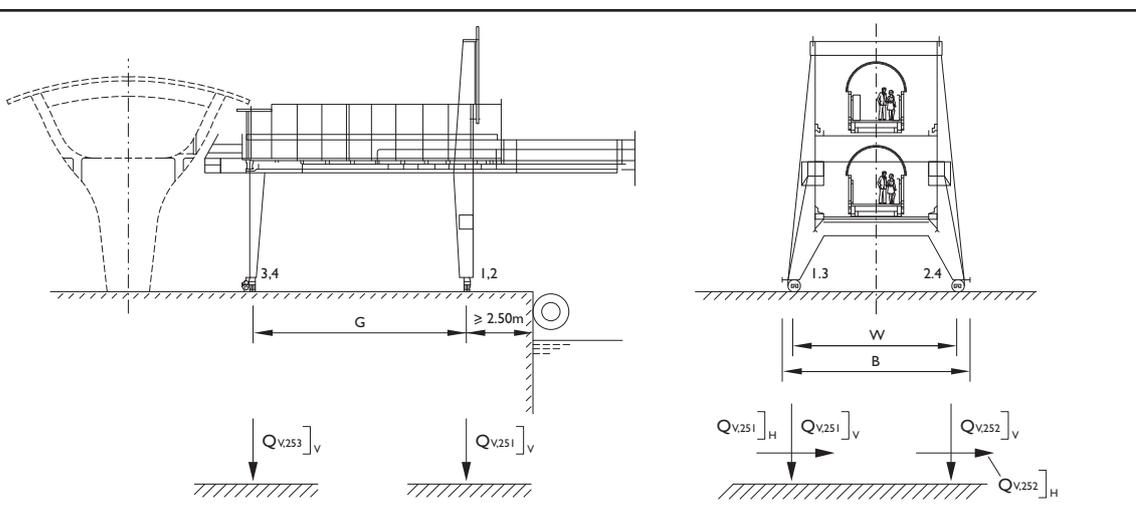
A falta de estudios más precisos entre movimientos del buque atracado y agente actuante de acuerdo con los procedimientos y con los valores admisibles establecidos en esta Recomendación para este tipo de equipos (ver tabla 4.6.4.22), así como de especificaciones del fabricante, pueden adoptarse con carácter general como valores límite de operatividad de los distintos agentes climáticos, cuando cada uno de ellos se adopta como predominante y, por tanto define un estado límite correspondiente a las condiciones de trabajo operativas de realización de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros mediante pasarelas móviles, los consignados en la tabla 3.2.1.3 ($V_{v,3s} = 24 \text{ m/s}$); $V_{c 10 \text{ min}} = 1,5 \text{ m/s}$ o $H_s = 0,5/0,3 \text{ m}$ con longitudes de onda mayores que la eslora del buque, en función de que el oleaje actúe en sentido longitudinal o transversal a la línea de atraque), obtenidos considerando que los movimientos que producen en los buques atracados con condiciones de amarre tipo son los máximos admisibles usuales compatibles con las pasarelas convencionales ⁽⁴⁸⁾ y que la velocidad de viento usual de paralización de la operativa de las pasarelas móviles por razones intrínsecas de seguridad del equipo y de la operativa es $V_{v,3s} = 24 \text{ m/s}$.

Las cargas transmitidas por los equipos para el embarque y desembarque de pasajeros se considerarán incompatibles con las transmitidas por los equipos de manipulación de mercancías en el área de operación. Por el contrario, sí que se considerarán compatibles con las debidas al estacionamiento y almacenamiento de mercancías y al tráfico terrestre. En los casos en los que los equipos para el embarque y desembarque de pasajeros sean de movilidad restringida, en general para la verificación de modos de fallo “globales” es admisible considerar la carga transmitida por cada pata del equipo como una carga lineal equivalente a la carga transmitida por las ruedas, obtenida por división de la carga transmitida por cada una de ellas (o por dos de ellas en los casos en los que se dispone doble rueda por eje) por la separación entre ejes de ruedas. Dicha carga lineal se extenderá a una distancia igual a la existente entre ejes de ruedas extremas, aumentada en una separación entre ruedas. Salvo que las condiciones de explotación definan expresamente otra cosa, del lado de la seguridad se considerará que varios equipos pueden trabajar simultáneamente o estar estacionados en situación de topes unidos. Sin perjuicio de mantener la diferenciación entre las cargas de cada pata para una mejor optimización de la obra, simplificada para facilitar los cálculos, del lado de la seguridad podrá adoptarse en todas las patas situadas en cada uno de los lados (lado mar y lado tierra) una misma carga vertical, horizontal transversal y horizontal longitudinal, considerando los valores compatibles asociados al valor mayor de cada una de estas componentes, obtenidos para todas las configuraciones del equipo y viento compatibles con el estado de proyecto considerado. Para la verificación de modos de fallo locales deberán tomarse en consideración alternativamente todas las cargas concentradas, tanto las transmitidas por dichos equipos como por las mercancías estacionadas o almacenadas, por el tráfico terrestre y por los equipos de manipulación de mercancías cuya actuación se prevea. A estos efectos, no se considerará la actuación simultánea de este tipo de cargas cuando correspondan a diferentes equipos o elementos.

Las cargas transmitidas por las pasarelas móviles se obtendrán a partir de la combinación de las acciones simultáneas y compatibles que en cada estado de proyecto representativo de los ciclos de solicitud asociados a la normal explotación de la instalación de atraque (condiciones de trabajo operativas), a la inoperatividad de la misma (condiciones de trabajo extremas) o a la presentación de un agente extraordinario o insólito (condiciones de trabajo excepcionales) actúan sobre el equipo, tomando en consideración tanto las diferentes configuraciones que puede adoptar el equipo en dicho estado y la dirección del viento, como, en su caso, la disposición o no de sistemas de anclaje. Para ello, el fabricante del equipo deberá suministrar las cargas verticales y horizontales transmitidas por cada agente actuando aisladamente en cada una de las configuraciones del equipo. Es recomendable solicitar estos datos al fabricante de acuerdo con el formato y requerimientos señalados en la tabla 4.6.4.7 para el caso de grúas de contenedores con las simplificaciones necesarias debidas a la diferente configuración del equipo y a la inexistencia de carga manipulada, de forma que sea posible definir los valores representativos y, en su caso, las funciones de distribución asociadas con dichas cargas. En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados directamente por los fabricantes para los equipos de embarque y desembarque de pasajeros previstos por el Promotor, podrán adoptarse como órdenes de magnitud de los valores representativos de las cargas transmitidas por algunas pasarelas móviles sobre carriles consideradas actualmente como estándar los consignados en la tabla 4.6.4.26.

(48) En general, las máximas amplitudes admisibles de los movimientos horizontales y verticales de los buques atracados para poder realizar las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros mediante pasarelas móviles convencionales son del orden 0,8 m y 0,5 m respectivamente. Así mismo las amplitudes admisibles de los giros (balanceo, cabeceo y guiñada) son prácticamente insignificantes (0,2°). Para más detalles ver la tabla 4.6.4.22.

Tabla 4.6.4.26. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por pasarelas móviles estándar de movilidad restringida para el embarque y desembarque de pasajeros (Tramo único o tramo final de acceso al buque) 9)



TIPO DE PASARELA MÓVIL 1)

TAMAÑO		PEQUEÑO 2)	GRANDE 3)	
Peso (kN)		300	600	
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Distancia entre carriles (G) (m)	7,5-10,0	> 10,0	
	Separación entre patas (W) (m)	4,0-7,0	5,8-8,0	
	Nº de ruedas por pata (n)	1 4)	2 4)	
	Separación entre ruedas (S) (m)	–	1,5	
	Distancia entre topes (B) (m)	5,0-8,0	7,5-10,5	
MÁXIMA CARGA POR RUEDA EN EJE MÁS CARGADO (kN) 5)	En condiciones de Operación 6)	Vertical	125	125
		Horizontal 8)	18	18
	En condiciones Extremas 7)	Vertical	130	155
		Horizontal 8)	40	40

Notas

- 1) Se consideran únicamente pasarelas sustentadas en pórticos de traslación sobre carriles, uno lado mar y otro lado tierra.
- 2) En general, las pasarelas móviles de tamaño pequeño incluidas en esta tabla se corresponden con pasarelas de tramo único para áreas de operación de ancho medio o reducido (entre 12,5 y 15 m).
- 3) En general, las pasarelas móviles de tamaño grande incluidas en esta tabla se corresponden con pasarelas de tramo único para áreas de operación de gran ancho (> 15 m). Las máximas cargas por rueda incluidas en esta tabla corresponden a pasarelas de tramo único. Para el tramo final de las pasarelas de tramo múltiple puede considerarse la misma configuración geométrica que para las pasarelas de tamaño grande con un aumento del 30% en las máximas cargas por rueda.
- 4) En algunas tipologías de pasarelas se coloca doble rueda por eje. En esos casos, la carga máxima por rueda es la mitad que la consignada en la tabla al mantenerse la máxima carga por pata.
- 5) Las cargas máximas por rueda consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo del orden de magnitud para cada tipo de pasarela. Dependiendo del fabricante, las variaciones tanto geométricas como de los valores de las cargas máximas pueden ser significativas, por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si esto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse por los equipos de embarque y desembarque de pasajeros, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación.
- 6) Considerando que la pasarela está cubierta y que actúa una velocidad de viento en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 24\text{ m/s}$ ($\approx 86\text{ km/h}$), actuando en dirección transversal a la banda de circulación del equipo y en el sentido más desfavorable, así como la amplificación dinámica. Definidas las cargas verticales en las patas más cargadas, las cargas verticales sobre el resto de patas pueden aproximarse considerando que la suma de todas las cargas verticales debe ser igual a 1,10 veces el peso propio.
- 7) Considerando que la pasarela está cubierta y una velocidad del viento en el emplazamiento correspondiente a condiciones extremas es $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 40\text{ m/s}$ ($\approx 144\text{ km/h}$) en la dirección perpendicular a la banda de circulación del equipo. Para la determinación de la carga máxima para otra velocidad del viento puede utilizarse el siguiente procedimiento simplificado:
 - Considerar que el peso propio del equipo se reparte uniformemente entre todas las patas. De esta forma se puede obtener las componentes de la carga debido al viento en cada pata ($Q_{fc,2|V_0}$) para la velocidad del viento $V_0 = 40\text{ m/s}$.
 - Considerar que la componente del viento para una velocidad V_1 ($Q_{fc,2|V_1}$) puede obtenerse mediante la relación $Q_{fc,2|V_1} = Q_{fc,2|V_0} (V_1/V_0)^2$.

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por pasarelas móviles estándar de movilidad restringida para el embarque y desembarque de pasajeros (Tramo único o tramo final de acceso al buque)⁹⁾ (continuación)

Notas

- 8) Carga horizontal en la dirección transversal a la dirección de rodadura, concordante con la dirección de actuación del viento. Definidas las componentes horizontales en las patas más cargadas, puede considerarse que sobre las otras patas actúa la misma carga horizontal. En condiciones de operación, la componente de la acción horizontal debida al viento puede aproximarse a la acción horizontal en condiciones extremas incluida en la tabla dividida por el coeficiente 2,78. En condiciones de operación debe considerarse que actúa simultáneamente una acción horizontal adicional en la dirección de la banda de circulación del equipo causada por los movimientos del equipo (traslación o frenada) que puede estimarse en el 15% de las cargas verticales.
- 9) Los otros valores representativos (de combinación, frecuente y cuasipermanente) en condiciones del equipo fuera de servicio pueden aproximarse a partir de las máximas cargas por rueda en condiciones extremas, considerando la velocidad del viento que le corresponda a cada valor representativo de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.8., calculados a través del procedimiento establecido en la cláusula 7). En condiciones del equipo en servicio, simplificadaamente podrán adoptarse valores reducidos de los valores establecidos para condiciones normales de operación que, para el caso del valor frecuente, serán iguales a 0,95 los correspondientes a dichos valores y para el caso del valor cuasi-permanente a 0,90.

◆ **Cargas mínimas**

En previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación de la obra de atraque y amarre durante su vida útil o de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas de las ecuaciones de verificación es recomendable que se adopten como mínimo las siguientes valores representativos de las cargas transmitidas por equipos para el embarque y desembarque de pasajeros, aunque la utilización de dichos equipos no esté inicialmente prevista o detallada por el Promotor:

- *Para usos comerciales de pasajeros, tanto en los casos ferris como cruceros*
 - Cuando la anchura del área de operación sea ≤ 15 m y el tamaño y composición de la flota de buques esperable en el atraque permita mantener con una pasarela de tramo único las pendientes en los rangos admisibles en las condiciones del emplazamiento consideradas como operativas (niveles de las aguas exteriores), se adoptarán como cargas mínimas las correspondientes a la pasarela móvil de tamaño pequeño incluidas en la tabla 4.6.4.26.
 - Cuando la anchura del área de operación sea > 15 m pero el tamaño y composición de la flota de buques esperable en el atraque permite mantener con una pasarela de tramo único las pendientes en los rangos admisibles en las condiciones del emplazamiento consideradas como operativas, se adoptarán como cargas mínimas las correspondientes a la pasarela móvil de tamaño grande, incluidas en la tabla 4.6.4.26.
 - En el resto de los casos se adoptarán como cargas mínimas las incluidas en la tabla 4.6.4.26 correspondientes a la pasarela móvil de tamaño grande, incrementadas en un 30% (equivalentes al tramo final de una pasarela de tramos múltiples).
- En obras de atraque y amarre del resto de usos no se considerarán cargas mínimas debidas a equipos para el embarque y desembarque de pasajeros.

El agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros es el agente "Embarque y desembarque de pasajeros ($q_{v,25}$). A los efectos de verificar este modo de parada operativa se definirán los valores umbral de las variables de los agentes climáticos que limitan las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros, para cada una de las siguientes causas de paralización de estas operaciones que sean relevantes en el emplazamiento, de acuerdo con lo dispuesto para las correspondientes condiciones de trabajo en este apartado:

- ◆ Paralización por razones intrínsecas de seguridad del equipo y de las operaciones.
- ◆ Paralización por incompatibilidad con los movimientos del buque atracado.
- ◆ Paralización por incompatibilidad de niveles y pendientes entre portalón del buque y pasarela.

- ◆ Paralización por rebases de las aguas exteriores o, en su caso, del trasdós, sobre el nivel de coronación de la obra de atraque.
- ◆ Paralización por rebases del oleaje sobre la coronación de obras de abrigo, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a éstas.

El nivel de operatividad conjunto correspondiente a este modo de parada podrá obtenerse de forma equivalente a lo dispuesto a estos efectos en el apartado 4.1.1.3. Verificación de modos de parada operativa, así como en el epígrafe a₃ del apartado 4.6.4.2.1.1.1. Cargas transmitidas por equipos fijos y de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación, sin perjuicio de que cuando se verifique la paralización de la instalación de atraque por incompatibilidad de niveles y pendientes asociada con el nivel bajo de las aguas la probabilidad de parada no se definirá como la probabilidad de excedencia de dicho valor sino como la probabilidad de no excedencia.

En general, en las instalaciones de atraque es recomendable que el nivel de coronación de las mismas se fije de forma que nominalmente no se produzca la paralización de la instalación por rebases de las aguas (Ver apartado 3.2.2.1. Nivel de coronación del atraque). De igual forma, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a diques es recomendable que los niveles de coronación de las obras de abrigo se proyecten de modo que la probabilidad de parada de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros asociada con los rebases de oleaje a través de la coronación del dique sea nominalmente nula.

Se adoptará como variable climática predominante la velocidad del viento para la causa de paralización por razones intrínsecas de seguridad del equipo y de la operación, el nivel alto y bajo de las aguas exteriores para la paralización por incompatibilidad de niveles y pendientes, así como el nivel alto o, en su caso, la altura de ola para la paralización por rebases. Para la paralización por incompatibilidad de movimientos del buque atracado se adoptará la velocidad del viento, la altura de ola, el periodo del oleaje y la velocidad de la corriente.

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación de los modos de fallo, la obtención de las funciones de distribución de las cargas transmitidas en los diferentes ciclos de sollicitación por las pasarelas de embarque y desembarque tipo considerados en la tabla 4.6.4.26 que se exige que se adopten como mínimos, se realizará a través de la adaptación a estos equipos del procedimiento establecido a estos efectos en el apartado 4.6.4.2.1.1.1. En el caso de que se apliquen las cargas máximas incluidas en la tabla 4.6.4.26 correspondientes a condiciones de trabajo operativas, podrán considerarse como valores nominales de los límites establecidos por condiciones de explotación del equipo y, por tanto, simplifícadamente, carentes de incertidumbre estadísticas durante la fase de servicio, siempre que sea el viento el agente que determine la operatividad de la instalación.

4.6.4.2.4. MANIPULACIÓN DE EMBARCACIONES PESQUERAS, DEPORTIVAS Y DE RECREO ($q_{v,26}$)⁽⁴⁹⁾

El agente manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo está asociado con las cargas transmitidas por los equipos e instalaciones que permiten la transferencia de dichas embarcaciones entre tierra y agua; es decir, su botadura o su puesta en seco para la realización de las necesarias operaciones de reparación, mantenimiento, limpieza o invernada de las mismas, así como su transporte por vía terrestre por el interior del área portuaria.

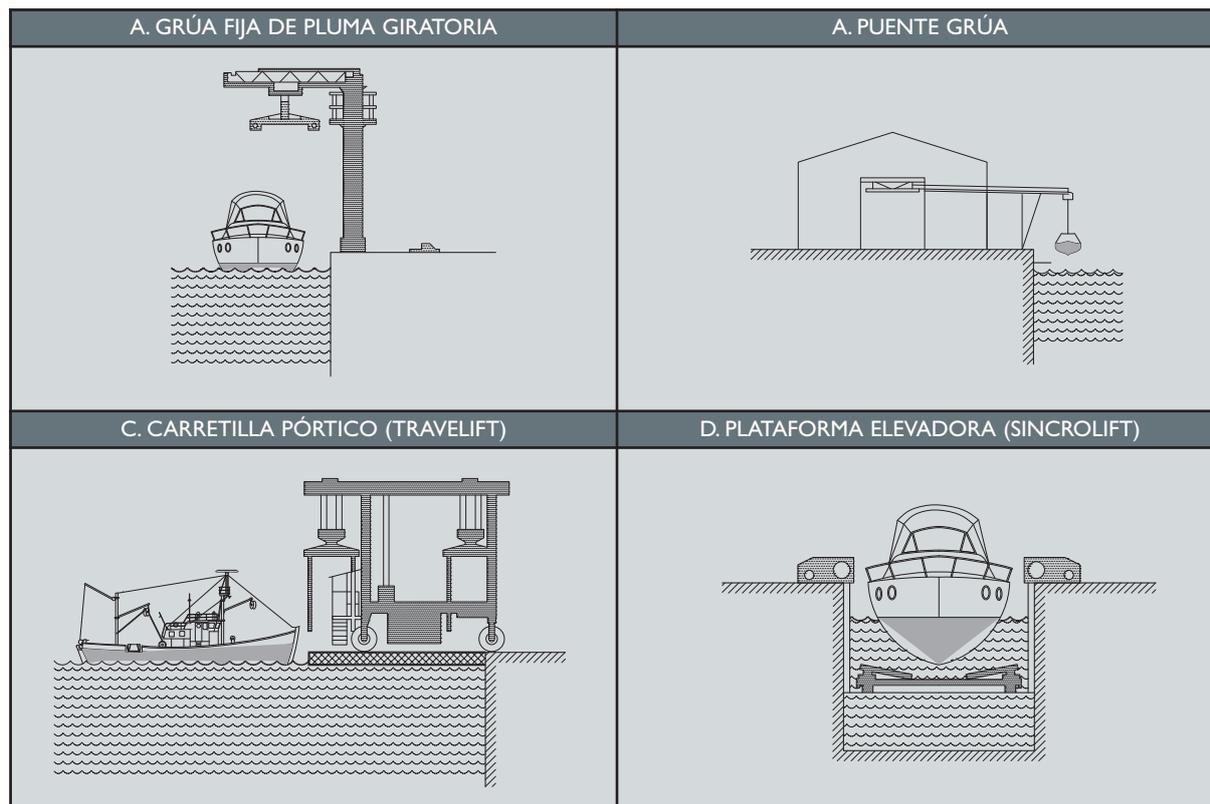
La actuación de este agente se considerará limitada a las obras de atraque y amarre para usos pesquero y náutico-deportivo y únicamente en las zonas de las áreas de operación y almacenamiento de las mismas especialmente previstas por el Promotor para la realización de estas operaciones para cada uno de los buques considerados (rampas de botadura y varada, pantalanos paralelos, fosos, marinas secas,...), en función de las diferentes actividades a realizar y de los equipos adoptados para su realización.

(49) El agente "manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo" se considera simplifícadamente que forma parte de los agentes de manipulación de mercancías y de embarque y desembarque de pasajeros aunque las embarcaciones pesqueras, deportivas o de recreo no son mercancías, dado que las características de los equipos que permiten la manipulación de este tipo de embarcaciones, así como el tratamiento de las cargas transmitidas por los mismos, son equivalentes a los correspondientes a algunos equipos de manipulación de mercancías.

Los principales tipos de equipos con los que se realizan normalmente estas operaciones son (Ver figura 4.6.4.4):

- ◆ Equipos fijos como grúas de pluma giratoria o puentes-grúa.
- ◆ Grúas móviles sobre neumáticos.
- ◆ Carretillas elevadoras frontales (forklift).
- ◆ Carretillas pórtico sumergibles y no sumergibles (travelift).
- ◆ Plataformas elevadoras (sincrolift).
- ◆ Remolques de transporte (transporters).

Figura 4.6.4.4. Equipos de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo



La posible utilización de estos equipos y las características de los mismos serán definidas por el Promotor, tomando en consideración las características de la instalación, pesquera ó náutico-deportiva, las operaciones a realizar y, en particular, el tamaño y composición de la flota previsible de embarcaciones usuarias. La utilización de estos equipos no es excluyente, pudiéndose utilizar, en algunos casos varios de ellos complementariamente. En general, los equipos utilizados para cada tipo y tamaño de buque son los siguientes:

- ◆ Las grúas de pluma giratoria específicas para estas operaciones tienen un alcance máximo inferior a 10-15 m y se utilizan, igual que otros equipos fijos, para dar servicio a una amplia gama de embarcaciones de tamaño pequeño (hasta 150-200 kN de desplazamiento).
- ◆ Las carretillas elevadoras frontales, adaptadas con mecanismos que permiten disponer las horquillas por debajo del cantil de la obra de atraque hasta alcanzar el casco en flotación, son también convenientes para embarcaciones de tamaño pequeño (hasta 150 kN de desplazamiento) en dársenas sin marea o con pequeñas oscilaciones del nivel de las aguas.
- ◆ Las carretillas pórtico son convenientes para embarcaciones de tamaño medio y grande con desplazamientos entre 150 y 15000 kN.
- ◆ Las plataformas elevadoras se aplican principalmente para embarcaciones a partir de 4000 kN de desplazamiento.

- ◆ Las grúas móviles sobre neumáticos son justificables únicamente para operaciones extraordinarias o que es previsible que tengan lugar con muy poca frecuencia considerando las características de la instalación pesquera ó náutico-deportiva.

Algunos de estos equipos (puentes grúa, carretillas elevadoras frontales y carretillas pórtico) permiten no solamente la botadura o puesta en seco de la embarcación sino también su transporte hasta o desde la zona de estacionamiento. En los otros casos son necesarios equipos complementarios de transporte. Existen actualmente disponibles en el mercado remolques de transporte para embarcaciones hasta 15000 kN de desplazamiento.

Las cargas a transmitidas por estos equipos ($q_{v,26}$), los factores que influyen en las mismas, los parámetros que las definen, su distribución espacial y los criterios para la obtención de sus valores nominales o de sus valores representativos y, en su caso, sus funciones de distribución son equivalentes a las definidas para los equipos similares de manipulación de mercancías en áreas de operación y de almacenamiento. En particular, a estos efectos para los equipos fijos será de aplicación lo dispuesto en el apartado 4.6.4.2.1.1.1, correspondiente a equipos fijos y de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación; para las grúas móviles sobre neumáticos lo dispuesto en el apartado 4.6.4.2.1.1.2 correspondiente a equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga por elevación y para las carretillas elevadoras frontales y para las carretillas pórtico lo dispuesto en el apartado 4.6.4.2.1.1.3 correspondiente a equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito sobre neumáticos de movilidad no restringida.

Salvo en el caso de equipos fijos o de movilidad restringida, las cargas transmitidas por los equipos de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo se considerarán normalmente sólo en los estados de proyecto representativos de los ciclos de solicitud asociados a la normal explotación de la instalación (condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de manipulación de embarcaciones), así como en los estados sísmicos y en los asociados a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario (condiciones de trabajo excepcionales), ya que en el resto de estados se considera que estos equipos se encuentran fuera de servicio y estacionados en las zonas establecidas al efecto, normalmente alejadas de la obra de atraque y amarre. Si las condiciones de explotación de la instalación no lo contemplan de este modo, estando previsto que los equipos de movilidad no restringida permanezcan en una zona de la obra de atraque y amarre en condiciones de tormenta, deberán tomarse en consideración también los estados representativos de los ciclos de solicitud asociados a condiciones de inoperatividad del equipo (condiciones de trabajo extremas, excepcionales debidas a viento extraordinario y excepcionales con el equipo fuera de servicio). Normalmente las condiciones de trabajo operativas vendrán definidas por la velocidad del viento límite que permite la realización de las operaciones de manipulación de embarcaciones con seguridad, sin perjuicio de que en determinados emplazamientos (p.e. zonas no abrigadas, parcialmente abrigadas o con fuertes corrientes) adicionalmente deba comprobarse si otro agente climático u operativo puede limitar la operatividad del equipo al producir movimientos en las embarcaciones a flote no compatibles con la realización de dichas operaciones. A falta de otros criterios, se adoptará como viento límite aquél cuya velocidad media en el intervalo (ráfaga) de 3 s a 10 m de altura sea 24 m/s. En el caso que deban definirse estados límites en condiciones de trabajo operativas considerando una variable distinta a la velocidad del viento como variable predominante, para el cálculo de las cargas transmitidas por los equipos se adoptará para la velocidad del viento el valor de compatibilidad con el valor límite de operatividad de la variable predominante. A estos efectos, únicamente se tomarán en consideración estas situaciones si la velocidad del viento compatible con las mismas no supera el valor umbral de operatividad establecido en aquéllos casos en que se considera el viento como agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo.

No se considerará la actuación simultánea de diferentes tipos de equipos de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo, ni la actuación simultánea de varios equipos del mismo tipo, salvo que las condiciones de explotación de la instalación definan otra cosa. Las cargas transmitidas por estos equipos se considerarán compatibles con las debidas al estacionamiento y almacenamiento y al tráfico terrestre que le correspondan, tomando en consideración únicamente las limitaciones debidas a su simultaneidad física en el mismo espacio y a las condiciones de explotación establecidas para la instalación. Para cada estado de proyecto se adoptará la posición de las mismas correspondiente a la configuración del equipo y a la posición de la embarcación manipulada que produzca el efecto más desfavorable para el modo de fallo analizado.

En general, debido a las condiciones de explotación portuaria en estos casos, así como a las características de los equipos que normalmente se utilizan para la manipulación de embarcaciones en función del desplazamiento de las mismas, para la verificación de modos de fallo “globales” será suficiente considerar simultáneamente la actuación de las sobrecargas repartidas de estacionamiento y almacenamiento o de tráfico terrestre, en las zonas accesibles al tráfico rodado, con las cargas debidas a equipos o plataformas elevadoras fijas, así como las debidas a carretillas pórtico (travelift) en las zonas en las que éstas actúan canalizadas en bandas de rodadura perfectamente definidas (fosos o bañeras de botadura y varada, pantalanos paralelos,...). Para la verificación de modos de fallo “locales” deberán tomarse en consideración alternativamente las cargas concentradas transmitidas por todos los equipos de manipulación de embarcaciones considerados. A estos efectos, no se considerará la actuación simultánea de este tipo de cargas cuando corresponden a diferentes equipos o a diferentes agentes. Cuando los equipos previstos por el Promotor para la manipulación de las embarcaciones sean carretillas pórtico para buques hasta 500 kN de desplazamiento, carretillas elevadoras frontales o remolques de transporte, las cargas transmitidas por los mismos se considerarán cubiertas por las debidas al tráfico terrestre cuando éstas se consideren; es decir, en aquellas áreas abiertas o accesibles a este tipo de tráfico (Ver apartado 4.6.4.3.1 correspondiente a tráfico viario).

Es recomendable solicitar a los fabricantes las cargas transmitidas por los equipos previstos por el Promotor, diferenciando las debidas al peso propio de los equipos de las debidas a la embarcación manipulada y al viento, tomando en consideración, en su caso, las diferentes posiciones del equipo, de la embarcación manipulada y de la dirección del viento, de forma que sea posible definir los distintos valores representativos y las funciones de distribución asociadas con dichas cargas.

En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados directamente por los fabricantes, podrán adoptarse como órdenes de magnitud de los valores representativos de las cargas transmitidas por equipos de manipulación de embarcaciones considerados actualmente como estándar los consignados en la tabla 4.6.4.14 para grúas móviles, en la tabla 4.6.4.17 para las carretillas elevadoras frontales y en la tabla 4.6.4.27 para las carretillas pórtico (travelifts). Para otros equipos de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo es difícil dar órdenes de magnitud de las cargas transmitidas debido a la diversidad tipológica existente en el mercado.

Dado que las operaciones de manipulación de estas embarcaciones se realizan en zonas prefijadas por el Promotor de acuerdo con los criterios de explotación establecidos para la instalación, exigiendo en general una dotación específica de infraestructuras para estas operaciones (rampas, fosos o bañeras de botadura y varada,...), dimensionadas en función del equipo de manipulación elegido y de la flota de embarcaciones previsible, no se definen cargas mínimas debidas a equipos de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo. A su vez, las cargas transmitidas por algunos de los equipos que permiten la manipulación de las embarcaciones más comunes en las instalaciones pesqueras, náutico-deportivas (hasta 500 kN de desplazamiento) están cubiertas por las cargas de tráfico. Lo anterior se establece sin perjuicio de aplicar con carácter general en las zonas accesibles al tráfico rodado las cargas mínimas correspondientes a equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación (Grúa móvil 100/25), definidas para usos pesqueros y náutico-deportivos (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.2 y tabla 4.6.4.23).

El agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la realización de las operaciones de manipulación de embarcaciones es el agente “Manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo ($q_{v,26}$). A los efectos de verificar este modo de parada operativa se definirán los valores umbral de las variables de los agentes climáticos que limitan la realización de estas operaciones, para cada una de las siguientes causas de paralización que sean relevantes en el emplazamiento, de acuerdo con lo dispuesto para las correspondientes condiciones de trabajo en este apartado:

- ◆ Paralización por razones intrínsecas de seguridad del equipo y de la operación.
- ◆ Paralización por incompatibilidad de los movimientos de las embarcaciones a flote.
- ◆ Paralización por rebases de las aguas exteriores o, en su caso, del trasdós, sobre el nivel de coronación de la obra de atraque.
- ◆ Paralización por rebases del oleaje sobre la coronación de obras de abrigo, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a éstas.
- ◆ Paralización por insuficiencia de alturas de elevación.

Tabla 4.6.4.27. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por carretilla pórtico estándar para manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo (Travelift)⁷⁾

TIPO DE CARRETILLA PÓRTICO					
TAMAÑO	PEQUEÑO ¹⁾ MEDIANO ¹⁾ GRANDE ¹⁾²⁾				
Capacidad de manipulación (kN)	150-1500	2000-5000	6000-10000		
Máxima manga de la embarcación (m)	4,30-7,90	8,50-10,50	10,50-15,00		
CARACTERÍSTICAS EQUIPO	Peso (kN)	100-750	950-2000	3000-5500	
	Altura libre interior (m)	4,85-9,50	10,10-12,10	13,70-16,80	
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Nº ruedas por pata y eje (n)	1	2	3	
	Distancia (L_1) entre ejes de banda de rodadura (m)	5,5-9,5	11,0-15,0	17,90-21,00	
	Distancia (L_2) entre centros de ruedas de un mismo eje (m)	-	0,90-1,50	0,70-1,60	
	Separación (L_3) entre ejes de ruedas(m)	4,4-10,4	10,5-15,0	19,50-23,50	
	Forma y dimensiones (cxc) área de contacto (m x m)	³⁾	³⁾	³⁾	
	Distancia (a) mínima entre cantíl y eje de banda de rodadura (m)	0,35-0,65	0,97-1,50	1,75-3,00	
MÁXIMA CARGA POR RUEDA (kN) ⁴⁾	Sin operación	Vertical	25-185	120-315	250-460
	En condiciones de operación ⁵⁾	Vertical	75-650	450-1050	850-1450
		Horizontal ⁶⁾	0,13 Vert	0,13 Vert	0,13 Vert
Notas					
1) Los primeros valores de los rangos de variación de cada parámetro se refieren a las carretillas de menor capacidad de manipulación de las incluidas en cada grupo de tamaños. De igual forma, los valores mayores se corresponden con las carretillas de mayor capacidad de elevación de las incluidas en cada grupo de tamaños.					
2) Existen en el mercado carretillas pórtico hasta 15000 kN de capacidad de manipulación. A partir de 10000 kN de capacidad el número de ruedas por pata y eje generalmente aumenta a 4, con el objeto de mantener las cargas por rueda en los mismos órdenes de magnitud que las carretillas de 10000 kN de capacidad de manipulación con 3 ruedas por pata y eje. También pueden existir carretillas pórtico de tamaño grande con sólo 2 ruedas por pata. En este caso bastará con hacer las correcciones oportunas para obtener las cargas máximas por rueda.					
3) Para obtener las dimensiones del área de contacto pueden considerarse presiones del orden de 1100 kN/m ² .					

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por carretilla pórtico estándar para manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo (Travelift) 7) (continuación)

Notas

- 4) Las cargas máximas por rueda consignadas en esta tabla, así como las características y la configuración geométrica de los equipos tienen únicamente un valor indicativo de los órdenes de magnitud para cada tipo de carretilla, habiéndose obtenido del análisis de los correspondientes a diferentes fabricantes. Dependiendo del fabricante pueden variar de forma significativa, por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si esto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación.
- 5) Considerando una velocidad del viento en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 24\text{ m/s}$ ($\approx 86\text{ km/h}$) en dirección transversal a la banda de circulación en el sentido más desfavorable e incluyendo los efectos inerciales asociados al movimiento del equipo (traslación y frenada) y de la embarcación manipulada. No se tienen en cuenta los efectos debidos a los giros del equipo. En las zonas en las que se produzcan giros de estos equipos puede considerarse que las cargas transmitidas son un 30% superiores a las consignadas en la tabla. Definidas las cargas verticales en las ruedas de las patas más cargadas, las cargas sobre el resto de patas pueden obtenerse considerando que la suma de todas las cargas debe igualar a las cargas verticales actuantes (peso propio + peso de la máxima embarcación manipulada + efectos inerciales). Los efectos inerciales pueden estimarse como el 15% del peso de la embarcación manipulada. Para otra velocidad del viento las cargas pueden adaptarse de acuerdo con lo dispuesto en la cláusula 3 de la tabla 4.6.4.10.
- 6) Carga horizontal en dirección transversal a la dirección de rodadura, concordante con la dirección de actuación del viento. Definidas las cargas horizontales en las patas más cargadas, puede considerarse que sobre las otras patas actúa la misma carga horizontal. En condiciones de operación, para una velocidad del viento límite de operatividad de 24 m/s , la componente de la acción horizontal debida al viento puede aproximarse al 3% de la carga vertical sin considerar la componente vertical debida a los efectos inerciales. En condiciones de operación debe considerarse que también actúa simultáneamente una acción horizontal adicional en la dirección de la banda de rodadura, causada por los movimientos del equipo (traslación o frenada), igual al 15% de las cargas verticales. No están incluidos en este valor los efectos debidos a los giros.
- 7) Puede considerarse suficientemente aproximado adoptar como valores frecuente y cuasi-permanente de las cargas transmitidas por los equipos incluidos en esta tabla los valores reducidos de las componentes verticales que para el caso del valor frecuente serán iguales a 0,95 los correspondientes a dichos valores nominales y para el caso del valor cuasi-permanente el 0,90 de dichos valores. En ambos casos se considerará que las acciones horizontales de actuación simultánea son nulas.

El nivel de operatividad conjunto correspondiente a este modo de parada podrá obtenerse de forma equivalente a lo dispuesto a estos efectos en el apartado 4.1.1.3. Verificación de modos de parada operativa, así como en el epígrafe a_3 del apartado 4.6.4.2.1.1.1.

En general, en las instalaciones de atraque es recomendable que el nivel de coronación de las mismas se fije de forma que nominalmente no se produzca la paralización de la instalación por rebases de las aguas exteriores o por insuficiencia de alturas de elevación (Ver apartado 3.2.2.1. Nivel de coronación del atraque). De igual forma, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a diques es recomendable que los niveles de coronación de las obras de abrigo se proyecten de modo que la probabilidad de parada de las operaciones de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo asociada con los rebases de oleaje a través de la coronación del dique sea nominalmente nula.

Se adoptará como variable climática predominante la velocidad del viento para la causa de paralización por razones intrínsecas de seguridad del equipo y de la operación, el nivel alto de las aguas exteriores y, en su caso, la altura de ola para la paralización por rebases y el nivel alto y bajo de las aguas por insuficiencia de las alturas de elevación. Para la paralización por incompatibilidad de movimientos de las embarcaciones a flote se adoptará la velocidad del viento, la altura de ola, el periodo del oleaje o la velocidad de la corriente.

4.6.4.2.5. FORMULACIÓN DE LAS ACCIONES DEBIDAS A LOS AGENTES DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS Y EMBARQUE Y DESEMBARQUE DE PASAJEROS ($Q_{v,2}$)

Las cargas de manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros solicitan a las obras de atraque y amarre actuando, bien directamente sobre los elementos estructurales analizados, bien indirectamente a través de otros elementos estructurales, superestructuras o capas de reparto, así como aumentando empujes verticales y horizontales producidos por el terreno natural o los rellenos sobre los que actúan.

◆ Cargas actuando directamente sobre un elemento estructural

Cuando las cargas actúen directamente sobre un elemento estructural en el que la distancia entre la superficie de aplicación de éstas y la directriz de la estructura sea significativa, se procederá al reparto de las cargas actuantes hasta dicha superficie mediante planos trazados desde los bordes del área de contacto con pendiente 1:1 (45°), sin perjuicio de otro tipo de acciones que pudieran presentarse debido a la no coincidencia entre el punto de aplicación de las cargas y la directriz del elemento analizado. Podrán adoptarse repartos más favorables siempre que se justifiquen debidamente por medio de modelos teóricos de validez reconocida para el elemento estructural analizado.

◆ Cargas actuando indirectamente a través de otros elementos estructurales o superestructuras

Cuando actúen indirectamente a través de otros elementos estructurales con capacidad de amortiguamiento de efectos dinámicos no se tendrán en cuenta estos efectos para la definición de las cargas actuantes. En estos casos, cuando se utilicen los valores representativos de las cargas transmitidas por los diferentes equipos consignados en las tablas incluidas en esta Recomendación, los cuales incluyen amplificación dinámica y efectos inerciales, las cargas verticales deberán minorarse por medio de un coeficiente 1,2 cuando se trate de equipos fijos y de movilidad restringida, y de un coeficiente 1,15 cuando se trate de equipos de movilidad no restringida. En lo que respecta a las cargas horizontales, únicamente se tomarán en consideración las componentes horizontales debidas a la acción del viento. En resumen, la amplificación dinámica deberá tomarse en consideración para el cálculo de losas, tableros, pavimentos, vigas de apoyo de carriles de grúa, encepados..., pero no para el cálculo de pilas, pilotes o cimentaciones. Simultáneamente, cuando la transmisión de cargas se realice a través de un elemento estructural a otro (p.e. carril-tablero), para la obtención de la superficie de aplicación y la distribución de las cargas se tomarán en consideración las características físicas del apoyo entre los dos elementos y la existencia y localización de juntas de dilatación, así como la distribución de reacciones producida por la interacción entre los dos elementos estructurales en estas condiciones. Para ello se utilizarán modelos específicos de interacción estructural.

Para las cargas correspondientes a equipos de manipulación de movilidad restringida sobre carriles actuando directamente sobre placa, como regla general y en ausencia de estudios más detallados es admisible considerar que las cargas concentradas verticales se distribuyen uniformemente en sentido longitudinal.

◆ Cargas actuando indirectamente a través de capas de reparto

Cuando las cargas actúen indirectamente a través de capas de reparto de espesor mayor o igual que 1,50 m no se considerará la influencia de la componente de amplificación dinámica y la debida a los efectos inerciales. Para capas de menor espesor podrá considerarse que las componentes dinámicas e inerciales actúan en superficie con un valor reducido en función de la profundidad del elemento resistente (reducción lineal con la profundidad entre su valor en superficie y su anulación en 1,50 m). En ambos casos podrá considerarse adicionalmente que la distribución de las cargas se realiza a 30-45°, según sea más desfavorable, desde la superficie de contacto hasta alcanzar el elemento estructural.

◆ Cargas actuando indirectamente a través de rellenos

Los empujes adicionales verticales y horizontales debidos a la actuación de estas cargas a través de los rellenos pueden obtenerse de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 3.6 de la ROM 0.5-05 para las obras fijas abiertas y en el apartado 3.7 de la misma Recomendación para las obras fijas cerradas. Para esos casos tampoco se considerará la componente de las cargas debida a amplificación dinámica y efectos inerciales.

Para cada estado de proyecto, las acciones de manipulación de mercancías y de embarque y desembarque de pasajeros y de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo tendrán igual consideración que el correspondiente agente, independientemente de que éste actúe directa o indirectamente. Así mismo, los valo-

res representativos de las acciones y sus funciones de distribución pueden obtenerse o derivarse de los correspondientes a los agentes causantes por medio de las relaciones funcionales existentes entre ambos.

4.6.4.3. Tráfico terrestre ($q_{v,3}$)

El agente tráfico terrestre está asociado con las cargas transmitidas por los distintos medios de transporte terrestre convencional de mercancías, materiales o suministros utilizados para su traslado desde o hasta el exterior de la zona portuaria. Por tanto, se consideran medios de transporte terrestre convencional aquéllos que están autorizados a circular con o sin restricciones por las redes de carreteras y ferrocarriles.

Se distinguen los siguientes agentes de tráfico terrestre:

- ◆ Tráfico viario ($q_{v,31}$)
- ◆ Tráfico ferroviario ($q_{v,32}$)

4.6.4.3.1. TRÁFICO VIARIO ($q_{v,31}$)

Las cargas a tomar en consideración transmitidas por el tráfico de carretera, que comprende coches, camiones, trenes de carretera y vehículos especiales (por ejemplo, vehículos militares, de transporte industrial,...), son las equivalentes a las acciones y presiones verticales y acciones horizontales que se producen en las distintas ruedas de dichos vehículos en condiciones operativas cargadas.

La actuación de este agente se considerará limitada a las obras de atraque y amarre o a las partes de las mismas accesibles al tráfico rodado, con o sin restricciones.

Los parámetros que definen a este agente se establecen por medio de diferentes modelos de carga teóricos normalizados, desarrollados de forma que sus efectos sean equivalentes al tráfico viario considerado. En esta Recomendación, dichos modelos se definen a partir de los establecidos para este tipo de tráfico por la normativa europea experimental vigente relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera, en particular el Eurocódigo 1. Parte 2.- “Acciones del tráfico en puentes”, ajustados de acuerdo con lo permitido por dicha normativa para adaptarlos a las diferentes características y condiciones de actuación del tráfico viario en las zonas portuarias: menor canalización, mayor porcentaje de vehículos pesados, mayor frecuencia de atascos, menor velocidad,... Los modelos de carga que definen a este agente se consiguen en la tabla 4.6.4.28.

Independientemente del modelo de carga considerado, la distribución espacial de las cargas equivalentes al tráfico viario se considerará libre, limitada, en su caso, únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la instalación y con las condiciones de aplicación definidas para cada modelo de carga particular. En este sentido, de forma simplificada para la verificación de modos de fallo “globales” se considerará que dichas cargas no actúan simultáneamente sobre la misma área (operación, almacenamiento y accesos) con las debidas a otros agentes de uso y explotación, excepto con los equipos de manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros fijos o que tienen movilidad restringida, así como con el tráfico ferroviario. Para la verificación de modos de fallo “locales” no se considerará la actuación simultánea de este agente con los otros agentes de uso y explotación que pueden actuar sobre el área considerada. Para cada estado de proyecto se adoptará aquel modelo de carga y aquella distribución espacial que produzca los efectos más desfavorables para el modo de fallo analizado.

Los modelos de carga se consideran mutuamente excluyentes entre sí.

Los modelos de carga 1 y 2 cubren la mayoría de los efectos del tráfico de coches, camiones y trenes de carretera que pueden circular sin restricciones por la red de carreteras, debiéndose adoptar en todas las obras de atraque y amarre o en partes de las mismas accesibles al tráfico viario sin ningún tipo de limitación o restricción, independientemente de su uso.

Tabla 4.6.4.28. Modelos de carga teóricos normalizados equivalentes al tráfico en áreas portuarias. Configuración geométrica y valores característicos de las cargas ¹⁾

MODELO DE CARGA 1: EJE TÁNDEM + SOBRECARGA ²⁾		MODELO DE CARGA 2: EJE SIMPLE											
$Q_{v,31} \downarrow_{V,k}$	150 kN ³⁾	$Q_{v,31} \downarrow_{V,k} = 200$ kN											
$q_{v,31} \downarrow_{V,k}$	10 kN/m ²												
$Q_{v,31} \rightarrow_{H,k}$	$0,64 \cdot 4 \cdot Q_{v,31} \downarrow_{V,k} = 360$ kN												
MODELO DE CARGA 3: VEHÍCULOS ESPECIALES ^{2) 4)}													
Configuración para vehículos con ejes de 150/200 kN		Configuración para vehículos con ejes de 240 kN											
TIPO DE VEHÍCULO ESPECIAL													
Peso total/ Carga por eje (kN)	900/150	1200/150	1500/150	1800/150	1200/200	1500/200	1800/200	2400/200	3000/200	3600/200	2400/240	3000/240	3600/240
Nº ejes (n)	6	8	10	12	6	8	9	12	15	18	10	13	15
Separación (s) ejes (m)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50 ⁵⁾	1,50 ⁶⁾	1,50	1,50	1,50	1,50 ⁶⁾
$Q_{v,31} \downarrow_{V,k}$ (kN)	75	75	75	75	100	100 ⁷⁾	100	100	100	100	80	80 ⁸⁾	80
$Q_{v,31} \downarrow_{V,k}$ (kN/m ²) ⁹⁾	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5

**Modelos de carga teóricos normalizados equivalentes al tráfico en áreas portuarias.
Configuración geométrica y valores característicos de las cargas ¹⁾ (continuación)**

MODELO DE CARGA 4: VEHÍCULOS MILITARES ESPECÍFICOS (CARROS DE COMBATE A ORUGAS) ^{2) 4)}		
TIPO DE CARRO DE COMBATE		
Peso total (kN)	750	1100
Dimensiones (c x c) áreas de contacto (m x m)	4,90 x 0,85	6,10 x 1,00
Separación (L_1) entre las áreas de contacto (m)	1,95	2,30
$Q_{v,31} _{V,k}$ (kN/m ²)	90	90
Notas		
<p>1) Las cargas consignadas en la tabla incluyen la componente correspondiente a efectos dinámicos.</p> <p>2) Además de las cargas consignadas en la tabla, correspondientes a este modelo, debe considerarse adicionalmente una sobrecarga repartida horizontal debida a los efectos sobre el tráfico viario de la acción del viento, adoptando como velocidad del mismo la correspondiente al estado meteorológico de proyecto representativo de la condición de trabajo considerada. La distribución espacial de dicha sobrecarga será la misma que la adoptada para la sobrecarga vertical. Estos efectos podrán obtenerse considerando que el viento actúa sobre una superficie virtual, obtenida adoptando una altura de 2,00 m sobre el nivel de circulación y una longitud igual a la adoptada para la componente de sobrecarga repartida vertical, independientemente de la posición de las cargas verticales concentradas.</p> <p>3) Para la verificaciones de modos de fallo "globales" puede considerarse simplíficadamente que el conjunto de cargas verticales es equivalente a una sobrecarga repartida de 30 kN/m².</p> <p>4) Como se supone que los vehículos especiales se mueven a poca velocidad en áreas portuarias, no se considera ninguna componente de amplificación dinámica ni cargas horizontales de arranque o frenada.</p> <p>5) Alternativamente, también puede considerarse una separación de ejes no homogénea e igual a: 5 x 1,50 m + 12 m + 5 x 1,50 m.</p> <p>6) Alternativamente, también puede considerarse una separación de ejes no homogénea e igual a: 7 x 1,50 m + 12 m + 6 x 1,50 m.</p> <p>7) En un eje, debe considerarse que $Q_{v,31} _{V}$ es 50 kN.</p> <p>8) En un eje, debe considerarse que $Q_{v,31} _{V}$ es 50 kN.</p> <p>9) No se considerarán las sobrecargas en el interior de la superficie envolvente que contiene las áreas de contacto de las cargas concentradas.</p>		

El modelo 1 se tomará en consideración tanto para la verificación de modos de fallo globales como locales. En general, no será necesario tomar en consideración este modelo para la verificación de modos de fallo globales en aquellas áreas de las obras de atraque y amarre en las que el valor característico de la sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento sea igual o superior a 40 kN/m². El modelo 2 deberá considerarse de forma aislada únicamente para la verificación de modos de fallo locales.

El modelo de carga 3 representa a los vehículos especiales más comunes que, no cumpliendo la regulación nacional sobre límites de peso y/o dimensiones, pueden estar autorizados a circular por determinadas carreteras con determinadas restricciones. Se tomará en consideración tanto para la verificación de modos de fallo globales como locales. El modelo de carga 4 representa a determinados vehículos militares específicos no cubiertos por el modelo 3, particularmente determinados carros de combate a orugas. El modelo 4 deberá tomarse en consideración de forma aislada únicamente para la verificación de modos de fallo locales. La verificación de modos de fallo globales cuando actúen este tipo de vehículos se considerará cubierta por la aplicación de la

sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento mínima establecida en esta Recomendación para las obras de atraque y amarre de uso militar (50 kN/m^2).

Igual que otros modelos de carga que puedan establecerse para casos específicos, los modelos incluidos en 3 y 4 están definidos para ser utilizados únicamente cuando lo requiera específicamente el Promotor de la instalación en función del uso de la obra de atraque y de la posibilidad de que puedan presentarse dichos vehículos. A su vez, cuando el Promotor establezca limitaciones o restricciones de paso a un determinado tipo de tráfico viario (p.e. se autorizan vehículos turismo pero no vehículos pesados) se podrán utilizar modelos específicos que respondan a dichas limitaciones. En esos casos deberán incluirse estas restricciones en las condiciones de explotación de la instalación y preverse el equipamiento adecuado (barreras,...) para que en las áreas no abiertas a todo tipo de tráfico viario quede garantizado de forma estricta el cumplimiento de las restricciones de paso establecidas. En caso contrario, serán de aplicación los modelos 1 y 2. No obstante lo anterior, en aquellas zonas en que sea físicamente posible el paso de vehículos, aunque su paso esté restringido total o parcialmente para determinado tipo de tráfico, adicionalmente al modelo específico que se establezca que responda a estas limitaciones se considerará en dichas zonas el posible tránsito de vehículos destinados a los servicios de protección contra incendios, considerando su actuación como una condición de trabajo excepcional debida a la presentación de una acción accidental. Para la comprobación de modos de fallo “globales”, el modelo de carga que representa a este tipo de tráfico se define como una acción repartida de 20 kN/m^2 dispuesta en una superficie de 3 m de ancho por 8 de largo. Para la comprobación de modos de fallo “locales” se supondrá, independientemente de la anterior, la actuación de una carga de 45 kN , actuando en una superficie cuadrada de 0,2 m de lado.

Las cargas transmitidas por el tráfico viario se considerarán únicamente en los estados de proyecto representativos de los ciclos de sollicitación asociados a la normal explotación de la instalación de atraque en todos los estados operativos (condiciones de trabajo operativas correspondientes tanto a accesibilidad marítima, como a las operaciones de atraque del buque, permanencia de los buques en el atraque y realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros), así como en los estados sísmicos y en los estados asociados a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario (condiciones excepcionales), ya que otro tipo de condiciones (condiciones extremales o excepcionales climáticas [condiciones de temporal]) no se consideran compatibles con este tipo de tráfico. Las cargas transmitidas por el tráfico viario en estas condiciones se considerarán cargas compuestas, obteniéndose tomando en consideración el peso propio de los vehículos y de la carga transportada, los efectos dinámicos debidos a su movimiento (frenada y arranque) y la acción del viento sobre el mismo.

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las cargas transmitidas por el tráfico viario se definirán:

a) Para formulaciones determinista y determinista-probabilista

a₁) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos

- ◆ *En condiciones de trabajo operativas correspondientes a cada uno de los estados límite de operatividad definidos para la instalación de atraque, las cargas equivalentes al tráfico viario podrán definirse a través de valores característicos de las distintas cargas componentes incluidos en cada modelo de carga equivalente a dicho tipo de tráfico. Dichos valores se consignan en la tabla 4.6.4.28. Para cuantificar la componente debida a la acción del viento incluida en los distintos modelos de carga se adoptará el valor representativo de la velocidad y dirección del viento correspondiente al estado meteorológico de proyecto que define cada una de estas condiciones e idéntico al adoptado para la definición de los otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea que dependen del viento.*
- ◆ *En condiciones de trabajo extremas y en condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación del agente climático viento de carácter extraordinario no se considerarán cargas transmitidas por el tráfico viario.*
- ◆ *En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea sismo o viento extraordinario, las cargas equivalentes al tráfico viario podrán definirse a través de*

su valor frecuente cuando se considere que la acción del tráfico viario es el agente variable predominante y a través de su valor cuasi-permanente para el resto de los casos. Lo anterior se establece sin perjuicio de los casos en que, de acuerdo con este apartado, deba considerarse el modelo específico de tráfico viario que representa la actuación de vehículos destinados a los servicios de protección contra incendios. En este caso las cargas incluidas en dicho modelo de carga tendrán la consideración de valores característicos correspondientes a una acción accidental. Con este modelo no se considerará la actuación simultánea del viento.

- ◆ En condiciones de trabajo excepcionales o extremas debidas a la presentación de una acción sísmica, las cargas equivalentes al tráfico viario podrán definirse a través de su valor cuasi-permanente.

Para cada uno de los modelos de carga, los valores frecuente y cuasi-permanente podrá obtenerse aplicando a cada una de sus componentes los coeficientes establecidos en la tabla 4.6.4.29.

Tabla 4.6.4.29. Modelos de carga teóricos normalizados equivalentes al tráfico viario. Valores representativos de las cargas (Para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos)

CONDICIÓN DE TRABAJO	MODELO DE CARGA	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Operativas (CT1)	Modelo 1	$Q_{v,31 V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.28) $Q_{v,31 H,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.28) $q_{v,31 V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.28) Acción del viento (considerando como valor representativo de la velocidad y dirección del viento el correspondiente al estado meteorológico de proyecto que define cada una de las condiciones normales operativas de la instalación de atraque. Para su definición, ver nota 2 tabla 4.6.4.28 y tabla 4.6.2.2)			
	Modelo 2	$Q_{v,31 V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.28)			
	Modelo 3	$Q_{v,31 V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.28) $q_{v,31 V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.28) Acción del viento (considerando como valor representativo de la velocidad y dirección del viento el correspondiente al estado meteorológico de proyecto que define cada una de las condiciones normales operativas de la instalación de atraque. Para su definición, ver nota 2 tabla 4.6.4.28 y tabla 4.6.2.2)			
	Modelo 4	$q_{v,31 V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.28)			
Condiciones de Trabajo Extremas (CT2)	–	–	–	–	–
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario (CT3,1)	–	–	–	–	–
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario (CT3,2) 2)3)	Modelo 1	–	–	$0,95 Q_{v,31 V,k}$ $0,00 Q_{v,31 H,k}$ $0,80 q_{v,31 V,k}$ l)	$0,80 Q_{v,31 V,k}$ $0,00 Q_{v,31 H,k}$ $0,80 q_{v,31 V,k}$ l)
	Modelo 2	–	–	$0,95 Q_{v,31 V,k}$	$0,80 Q_{v,31 V,k}$
	Modelo 3	–	–	$0,00 Q_{v,31 V,k}$ $0,00 q_{v,31 V,k}$ l)	$0,00 Q_{v,31 V,k}$ $0,00 q_{v,31 V,k}$ l)
	Modelo 4	–	–	$0,00 q_{v,31 V,k}$	$0,00 q_{v,31 V,k}$
Condiciones de Trabajo extremas o Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	Modelo 1	–	–	–	$0,80 Q_{v,31 V,k}$ $0,00 Q_{v,31 H,k}$ $0,80 q_{v,31 V,k}$ l)
	Modelo 2	–	–	–	$0,80 Q_{v,31 V,k}$
	Modelo 3	–	–	–	–
	Modelo 4	–	–	–	–

Modelos de carga teóricos normalizados equivalentes al tráfico viario. Valores representativos de las cargas (Para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos) (continuación)

Notas

- 1) Simplificadamente, para obtener el valor frecuente y cuasi-permanente de las cargas transmitidas por el tráfico viario es aceptable no tomar en consideración la componente debida al viento.
- 2) Se adoptará como valor representativo el valor frecuente cuando se considere el tráfico viario como agente variable predominante para el modo de fallo analizado. En el caso de que el tráfico viario no fuera el agente variable predominante se adoptará el valor cuasi-permanente.
- 3) En los casos en que deba considerarse el modelo específico de tráfico viario que representa la actuación de vehículos destinados a los vehículos destinados a los servicios de protección contra incendios, las cargas incluidas en dicho modelo tendrán la consideración de valores característicos correspondientes a una acción accidental.

a₂) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación en cada condición de trabajo sea la combinación poco probable o fundamental se utilizarán asimismo los valores representativos consignados en la tabla 4.6.4.29.

Para la verificación de estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable sea la combinación frecuente o cuasi-permanente se adoptarán como valores representativos de las cargas equivalentes al tráfico viario los valores frecuentes o cuasi-permanentes definidos en esa tabla para condiciones de trabajo excepcionales.

a₃) Para la verificación de modos de parada operativa

Para valorar la operatividad de la instalación no se considerarán modos de parada operativa asociadas al agente tráfico viario.

b) Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación correspondientes a los ciclos de solicitud asociados a condiciones de trabajo operativas es admisible considerar que las cargas incluidas en los modelos teóricos normalizados equivalentes al tráfico viario se corresponden con valores nominales de los límites operativos establecidos por criterios de explotación para dicho tipo de tráfico y, por tanto, simplificadamente, carentes de incertidumbre estadística durante dicho ciclo. Las funciones de distribución de las componentes horizontales debidas al viento incluida en los modelos 1 y 3 podrán obtenerse como funciones derivadas de las funciones de distribución de la velocidad del viento en dichas condiciones de trabajo (regímenes medios anuales truncados con el valor límite de operatividad del mismo o funciones de distribución condicionadas al valor de otro agente que determina las condiciones operativas, en el caso de que el viento sea dependiente de éste, truncadas asimismo por el valor límite de operatividad del viento en las condiciones de trabajo operativas consideradas.

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación correspondientes a otros ciclos de solicitud en los que se considere la actuación de dicho agente (condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario o condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica) puede considerarse que las cargas verticales incluidas en los modelos 1 y 2 responden a una función de distribución normal de media el 80% del valor característico y coeficiente de variación de 0,15. En estos ciclos de solicitud no se considerará la actuación de las componentes horizontales incluidas en dichos modelos. Así mismo, en la verificación de estos ciclos de solicitud no se considerará la actuación de los modelos 3 y 4.

4.6.4.3.2. TRÁFICO FERROVIARIO ($q_{V,32}$)

Las cargas transmitidas por el tráfico ferroviario son las equivalentes a las acciones verticales y horizontales que se producen en las distintas ruedas de los vehículos y equipos ferroviarios.

La actuación de este agente se considerará limitada a aquellos usos y áreas en los que esté previsto por el Promotor la actuación de tráficos ferroviarios, en función de las condiciones de utilización y criterios de explotación establecidos para la instalación, así como de la organización del sistema ferroviario en el puerto. En este caso, el Promotor definirá la o las plataformas de vías o zonas en las que pueden actuar los tráficos ferroviarios. Las plataformas de vías quedarán expresamente reflejadas y delimitadas en el proyecto.

La tendencia actual en la organización y explotación de las operaciones ferroviarias en el ámbito portuario, asociados con una progresiva automatización de los procesos de carga y descarga del buque, de entrega-recepción y de ordenación-control de mercancías, así como de consolidación-desconsolidación y de expedición-recepción de trenes, con el objetivo de alcanzar una mayor productividad en dichas operaciones, es establecer terminales ferroviarias de carga y descarga localizadas en el lado tierra de las áreas de almacenamiento asociadas a las obras de atraque y, por tanto alejadas de las áreas de operación, conjuntamente con terminales ferroviarias de apoyo, dedicadas fundamentalmente a la expedición-recepción de trenes, situadas en las proximidades del puerto pero generalmente fuera de su zona de servicio. Por dicha razón, salvo que el Promotor de la instalación lo indique expresamente no se considerará la actuación de tráficos ferroviarios en el área de operación de las obras de atraque y amarre.

Los parámetros que definen a este agente se establecen por medio de un modelo de carga teórico normalizado, desarrollado de forma que sus efectos sean equivalentes al tráfico ferroviario normal de mercancías, en las condiciones de operación de las áreas portuarias. En esta Recomendación, dicho modelo se define a partir de los establecidos en la Instrucción española sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril (IAPF-07), así como en la normativa europea experimental vigente relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril, en particular el Eurocódigo 1. Parte 2.- “Acciones del tráfico en puentes”, ajustado de acuerdo con lo permitido por dicha normativa para adaptarlo a las diferentes características y condiciones de actuación del tráfico ferroviario en las zonas portuarias: trenes exclusivamente de mercancías, simultaneidad habitual de trenes en vías múltiples, velocidades de circulación reducidas con frecuentes frenadas y arranques, vagones sujetos a impactos importantes durante los procesos de carga y descarga, desnivelaciones usuales de los carriles debido a la multiplicidad de utilización de la plataforma, imperfecciones de las ruedas de los vagones de carga, trazados con giros de pequeños radio, funciones de distribución de las cargas más estrechas, ... El modelo de carga que define a este agente se consigna en la tabla 4.6.4.30, aplicable para tráficos normales de mercancías tanto con vías de ancho estándar europeo o UIC (1.435 m) y grandes anchos ⁽⁵⁰⁾ como con vías de ancho métrico, sin más que variar el coeficiente multiplicador a definido para cada ancho de vía. Para otro tipo de tráficos ferroviarios, como líneas de tráfico más ligero que el normal o, por el contrario, tráficos especiales más pesados, el proyectista a solicitud del Promotor podrá establecer modelos específicos (como por ejemplo el tren SW/2 del Eurocódigo 1. Parte 2) y definir sus condiciones de aplicación, sin perjuicio de que, a falta de otros datos y del lado de la seguridad, para los tráficos más ligeros también puedan aplicarse los modelos anteriores.

La distribución espacial de las cargas equivalentes al tráfico ferroviario se considerará libre en la plataforma de vías definida por el Promotor, limitada, en su caso, únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la obra de atraque y particularmente con los equipos e instalaciones de manipulación de mercancías, así como con las condiciones de aplicación definidas para el modelo de carga en particular, y por la separación mínima entre vías y entre éstas y los equipos de manipulación establecida por condiciones de seguridad. La separación entre ejes de vías no debe ser en ningún caso menor de 3,50 m, aunque se recomienda que no sea menor de 4,00 m. Los ejes de las vías se situarán en las posiciones más desfavorables para el modo de fallo analizado, compatibles con lo dispuesto en el párrafo siguiente.

(50) 1.668 m en España y Portugal.
1.600 m en Irlanda.
1.520 m en Finlandia y Rusia.

Tabla 4.6.4.30. Modelo de carga teórico normalizado equivalente al tráfico ferroviario en áreas portuarias. Configuración geométrica y valores característicos de las cargas

MODELO DE CARGA UIC 71 1) 2) 3)		
$Q_{v,32}^{v,k}$	$\alpha \cdot 250 \text{ kN}^4)$	$\alpha = 1,21$ para vías de ancho UIC o gran ancho $\alpha = 0,91$ para vías de ancho métrico
$q_{v,32}^{v,k}$	$\alpha \cdot 80 \text{ kN/m}^4)$	
$Q_{v,32}^{HS,k}$ 5)	100 kN	
$Q_{v,32}^{HL,k}$ 6)	Más favorable – Frenado [$\alpha \cdot 20$ (kN/m), repartida en una longitud L (m)] – Arranque [$\alpha \cdot 33$ (kN/m), repartida en una longitud L' (m)] L y L' se definen según las notas 7) y 8)	
Notas		
1) Modelo de carga definido a partir del incluido en la instrucción española IAPF-07, equivalente al modelo de carga UIC71 del Eurocódigo I. Parte 2. Acciones del tráfico en puentes. 2) Los trenes de carga representan la circulación por una vía. Para las cargas verticales se aplicará la mitad de la carga a cada carril. No obstante, en el caso de las cargas verticales concentradas ($Q_{v,32}^{v}$) puede considerarse un reparto 0,44/0,56 debido a la excentricidad causada por efecto del desplazamiento lateral de las cargas verticales. No obstante lo anterior, para la verificación de modos de fallo “globales” es admisible la aplicación de todas las cargas en el eje de la vía. Las cargas incluidas en este modelo o la parte de ellas en extensión y posición que producen un efecto favorable no deben tomarse en consideración. Para una playa con más de dos vías múltiples se adoptará como valor característico de las cargas en cada vía el que produzca los efectos más desfavorables considerando en todas las vías un valor de las cargas verticales correspondiente a 0,75 los consignados en la tabla o el valor de la tabla aplicado únicamente en dos vías. En ambos casos se considerarán las acciones horizontales desfavorables de actuación simultánea compatibles con las cargas verticales adoptadas (Ver nota 5 para la fuerza de lazo y nota 6 para las fuerzas de frenado o arranque). 3) Adicionalmente a las cargas incluidas en este modelo deben tomarse en consideración los efectos de las acciones climáticas actuando sobre este tipo de tráfico en los distintos estados de proyecto representativos de los distintos ciclos de solicitud, de acuerdo con lo dispuesto en esta Recomendación. 4) Las cargas verticales consignadas en la tabla no incluyen la amplificación por efectos dinámicos, la cual debe considerarse cuando actúan directa o indirectamente sobre un elemento estructural. Considerando las características y condiciones de actuación de los tráficos ferropuertuarios: velocidades de circulación reducidas, menor mantenimiento de las vías, plataforma con usos múltiples sin balasto, ..., así como las características estructurales usuales de las tipologías de las obras de atraque y amarre en la que sus efectos son significativos (particularmente en las obras de atraque fijas abiertas de pilas o pilotes), simplificada puede adoptarse para valorar estos efectos con carácter general un coeficiente de mayoración de 1,40. En otros casos o cuando se desee una mayor precisión en la valoración de estos efectos, el coeficiente de mayoración de efectos dinámicos puede obtenerse de acuerdo con la metodología definida en el apartado B2 de la Instrucción IAPF-07. 5) Fuerza de lazo. Se asimila a una carga horizontal concentrada que se aplica en la parte superior de un carril, perpendicularmente al eje de la vía, tanto en tramos rectos como curvos, y sentido hacia el exterior de la vía. La fuerza de lazo se aplicará en la posición que resulte más desfavorable para el modo de fallo considerado. Su actuación será simultánea con las cargas verticales. En el caso de vías múltiples se considerará una única fuerza de lazo en la vía más desfavorable para el modo de fallo analizado. Dadas las reducidas velocidades de circulación de los trenes en las áreas portuarias se pueden despreciar otras fuerzas horizontales transversales al eje de la vía como las fuerzas centrífugas en tramos curvos. 6) Fuerzas de frenado y arranque. Se asimilan a fuerzas horizontales, paralelas a la vía, repartidas uniformemente a lo largo de una determinada longitud, y aplicadas al nivel del plano medio de rodadura. Su actuación será simultánea con las cargas verticales, extendida por lo menos en las mismas zonas que éstas. En el caso de vías múltiples, se considerará la actuación simultánea únicamente de un frenado y de un arranque en dos cualquiera de ellas, elegidas de forma que sea más desfavorable para el modo de fallo analizado. 7) L es la longitud en la que se supone repartida la fuerza de frenado. Puede tomarse igual a la longitud de la vía sobre la estructura resistente analizada, siempre que se permita la dilatación del carril en ambos extremos de la obra de atraque. En casos de carril continuo en un o ambos extremos o de juntas intermedias deberán hacerse estudios específicos de interacción vía-estructura para determinar la longitud a considerar. En ningún caso dicha longitud superará 300 m. 8) L' es la longitud en la que se supone repartida la fuerza de arranque. Puede tomarse igual a la longitud de la vía sobre la estructura resistente analizada, siempre que se permita la dilatación del carril en ambos extremos de la obra de atraque. En casos de carril continuo en un o ambos extremos o de juntas intermedias deberán hacerse estudios específicos de interacción vía-estructura para determinar la longitud a considerar. En ningún caso dicha longitud superará 30 m.		

En la plataforma de vías definida por el Promotor se considerará el mayor número de vías geométrica y estructuralmente posibles en el espacio interior. A estos efectos, el espacio entre vías se tomará homogéneo, respetando el espacio mínimo admisible entre ejes de vías y considerando que entre el eje de vías y, en su caso, el de la banda de rodadura de los equipos de manipulación de mercancías de movilidad restringida paralela a las vías que actúen simultáneamente en dicha zona debe mantenerse un espacio mínimo de 3,00 m, aunque se recomienda también que sea de 4,00 m. Para cada estado de proyecto se adoptará la distribución espacial en posición y, en su caso, extensión que produzca los efectos más desfavorables para el modo de fallo analizado.

Las cargas debidas al tráfico ferroviario podrán aplicarse conjuntamente con las otras sobrecargas de uso y explotación de actuación simultánea en la misma área (operación, almacenamiento y accesos), aunque no superponiéndose en la banda de circulación del ferrocarril. A estos efectos se considerará como banda de circulación del ferrocarril la zona limitada por líneas paralelas a los carriles, situadas a ambos lados de una o varias vías y a 3,50 m del eje de las extremas. No se considerarán como vías múltiples aquéllas cuya separación entre ejes supere 6,00 m. No será necesaria la consideración de este agente para la verificación de modos de fallo “globales” en aquellas áreas en las que la sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento de actuación simultánea considerada en el emplazamiento sea igual o mayor a 50 kN/m^2 . Para la verificación de modos de fallo “locales” no se considerará la actuación simultánea de este agente con los otros agentes de uso y explotación que puedan actuar sobre el área considerada.

Las cargas de tráfico ferroviario se tomarán en consideración tanto en los estados de proyecto representativos de los ciclos de sollicitación asociados a la normal explotación de la instalación de atraque (condiciones de trabajo operativas) como en los estados de proyecto representativos de los ciclos de sollicitación asociados a la inoperatividad de la misma (condiciones de trabajo extremas) o a los ciclos de sollicitación asociados a la presentación de un agente extraordinario o insólito (condiciones de trabajo excepcionales). En condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario se considerará la presencia de tráficos ferroviarios en las obras de atraque y amarre con igual criterio que el adoptado para los equipos de manipulación de movilidad restringida en dichas condiciones; es decir, admitiendo que en esos estados no se producen procesos de carga y descarga ni movimientos en los tráficos ferroviarios y, por tanto, no existen efectos dinámicos ni componentes horizontales (fuerzas de frenado y arranque, de lazo, ...). Por el contrario, en condiciones de trabajo excepcionales debidas a la actuación de una acción accidental o en condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica se considerará que el tráfico ferroviario puede estar en situación de total operatividad.

Las cargas transmitidas por el tráfico ferroviario se considerarán cargas compuestas, habiéndose definido el modelo de cargas normalizado equivalente tomando en consideración el peso de los vehículos y de la carga transportada, así como las acciones horizontales debidas a su movimiento (frenada y arranque, lazo) y otros efectos dinámicos. Adicionalmente deben tomarse en consideración los efectos debidos a las acciones climáticas actuando sobre este tipo de tráfico en los estados de proyecto representativos de los distintos ciclos de sollicitación a lo que está sometida la instalación de atraque y amarre, particularmente la acción del viento.

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las cargas transmitidas por el tráfico viario se definirán:

a) Para formulaciones determinista y determinista-probabilista

a₁) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos

- ◆ En condiciones de trabajo operativas correspondientes a cada uno de los estados límites de operatividad definidos para la instalación de atraque, las cargas equivalentes a este tipo de tráfico podrán definirse a través de los valores característicos de las distintas cargas componentes del modelo de carga consignado en la tabla 4.6.4.30, considerando que actúa adicionalmente una componente debida a la acción del viento.

Para cuantificar la componente debida a la acción del viento compatible con el modelo de carga normalizado equivalente al tráfico ferroviario se adoptará el valor representativo de la velocidad

y dirección del viento correspondiente al estado meteorológico de proyecto que define las condiciones de trabajo operativas consideradas (accesibilidad marítima, operaciones de atraque de buques, permanencia de buque en el atraque y realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros) e idéntico al adoptado para la definición de otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea que dependen del viento. Los efectos de la acción del viento sobre el tráfico ferroviario podrán obtenerse considerando que el viento actúa sobre una superficie virtual, obtenida adoptando una altura de 4,00 m para anchos UCI y grandes anchos y 3,70 m para ancho métrico a partir del nivel de la vía de rodadura y la longitud en la dirección de circulación más desfavorable, independientemente de la posición de las cargas verticales.

- ◆ *En condiciones de trabajo extremas*, se considera que los trenes están parados en cualquier ubicación de la obra de atraque y sin que se realice ningún tipo de operación en ellos. En esta situación las cargas transmitidas por el tráfico ferroviario podrán definirse a través de los valores característicos únicamente de las cargas verticales incluidas en el modelo de carga consignado en la tabla 4.6.4.30, sin considerar la amplificación por efectos dinámicos, más los efectos del viento sobre el mismo actuando la velocidad de viento representativa del estado climático en condiciones extremas en el emplazamiento y en la dirección adoptada (Ver apartado 4.6.2.1). Para probabilidades de ocurrencia del modo de fallo en estas condiciones de trabajo menores del 5 %, dichos valores son los correspondientes a un periodo de retorno de 50 años si el viento es el agente climático predominante para el modo de fallo considerado (Ver ROM 0.4). En el caso de que el viento no sea el agente climático predominante en el modo de fallo analizado y pueda considerarse independiente del predominante se adoptará como valor representativo el valor de combinación de la velocidad del viento ($T_R = 5$ años, con las consideraciones señaladas para el caso de variables direccionales). En los otros casos, ver tabla 4.6.2.2.
- ◆ *En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de viento de carácter extraordinario*, se considera que los trenes están parados en cualquier ubicación de la obra de atraque y sin que se realice ningún tipo de operación en ellos. En esta situación, las cargas equivalentes al tráfico ferroviario podrán definirse a través del valor frecuente de las componentes verticales del modelo de carga, cuando se considere que la acción del tráfico ferroviario es el agente variable predominante para el modo de fallo analizado, y a través del valor cuasi-permanente de las mismas cargas para el resto de los casos, más los efectos del viento extraordinario sobre el mismo en la dirección adoptada. En ambos casos no se considerará ni la amplificación de las cargas verticales por efectos dinámicos ni las acciones horizontales incluidas en el modelo de carga por estar en una situación no operativa. Los valores frecuentes y cuasi-permanentes de las cargas ferroviarias incluidas en el modelo asociadas a estas condiciones se definen en la tabla 4.6.4.31. Para probabilidades de fallo menores del 5 %, el viento extraordinario esta asociado con los valores de la velocidad del viento correspondientes a un periodo de retorno de 500 años (Ver tabla 4.6.2.2).
- ◆ *En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea sismo o viento extraordinario*, se considera que el ferrocarril puede estar tanto en condiciones operativas como parado sin que se realice ningún tipo de operación en él. No obstante, dadas las condiciones de aplicación del modelo de cargas, del lado de la seguridad se considerará que en esta situación el ferrocarril se encuentra en situación operativa. En este caso las cargas equivalentes al tráfico ferroviario se definirán a través del valor frecuente de las componentes del modelo de carga, cuando se considere que la acción del tráfico ferroviario es el agente variable predominante para el modo de fallo analizado, y a través del valor cuasi-permanente para el resto de los casos. En ambos casos se considerará la amplificación de las cargas verticales por efectos dinámicos al estar en situación operativa. Para el valor cuasi-permanente no se considerarán las acciones horizontales incluidas en el modelo de carga. Cuando se aplique el valor frecuente y cuasi-permanente de las cargas transmitidas por el tráfico ferroviario, simplificadaamente es aceptable no tomar en consideración la componente debida al viento. Los valores frecuentes y cuasi-permanentes de las cargas ferroviarias incluidas en el modelo asociadas a estas condiciones se definen en la tabla 4.6.4.31.

- ◆ En condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica, se considera que el ferrocarril puede estar tanto en condiciones operativas como no operativas. No obstante, dadas las condiciones de aplicación del modelo de cargas, del lado de la seguridad se considerará que en esta situación el ferrocarril se encuentra en situación operativa.

En esta situación, las cargas equivalentes al tráfico ferroviario se definirán a través del valor cuasi-permanente de las componentes del modelo de carga, considerándose la amplificación de las cargas verticales por efectos dinámicos al estar en situación operativa, pero no se considerarán las componentes horizontales incluidas en el modelo de carga ni la componente debida al viento. Los valores cuasi-permanentes de las cargas ferroviarias incluidas en el modelo asociadas a estas condiciones se definen en la tabla 4.6.4.31.

El resumen de los valores representativos de las cargas transmitidas por el tráfico ferroviario se incluye en la tabla 4.6.4.31.

Tabla 4.6.4.31. Modelos de carga teóricos normalizados equivalentes al tráfico ferroviario en áreas portuarias. Valores representativos de las cargas (Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos con probabilidades de fallo menores que 5% en la correspondiente condición de trabajo)

CONDICIÓN DE TRABAJO	MODELO DE CARGA	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Operativas (CT1)	Modelo UIC 71		$Q_{v,32 V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.30) ¹⁾ $q_{v,32 V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.30) ¹⁾ $Q_{v,32 Hs,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.30) $q_{v,32 HL,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.30) Acción del viento (considerando como valor representativo de la velocidad y dirección del viento el correspondiente al estado meteorológico de proyecto que define cada una de las condiciones operativas de la instalación de atraque. Para su definición, ver tabla 4.6.2.2)		
Condiciones de Trabajo Extremas (CT2) ^{4) 5)}	Modelo UIC 71	$Q_{v,32 V,k}$ ³⁾ $q_{v,32 V,k}$ ³⁾ Acción del viento (considerando que actúa la velocidad del viento correspondiente a $T_R = 50$ años) ²⁾	$Q_{v,32 V,k}$ ³⁾ $q_{v,32 V,k}$ ³⁾ Acción del viento (considerando que actúa la velocidad del viento correspondiente a $T_R = 50$ años, con las consideraciones señaladas para el caso de variables direccionales) ²⁾	–	–
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario (CT3,1) ⁶⁾	Modelo UIC 71	–	–	$0,95 \cdot Q_{v,32 V,k}$ ³⁾ $0,95 \cdot q_{v,32 V,k}$ ³⁾ Acción del viento (considerando que actúa la velocidad del viento correspondiente a $T_R = 500$ años) ²⁾	$0,80 \cdot Q_{v,32 V,k}$ ³⁾ $0,80 \cdot q_{v,32 V,k}$ ³⁾ Acción del viento (considerando que actúa la velocidad del viento correspondiente a $T_R = 500$ años) ²⁾
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea sismo o viento extraordinario (CT3,2) ⁶⁾	Modelo UIC 71	–	–	$0,95 \cdot Q_{v,32 V,k}$ ¹⁾ $0,95 \cdot q_{v,32 V,k}$ ¹⁾ $0,95 \cdot Q_{v,32 Hs,k}$ $0,95 \cdot Q_{v,32 HL,k}$ ⁷⁾	$0,80 \cdot Q_{v,32 V,k}$ ¹⁾ $0,80 \cdot q_{v,32 V,k}$ ¹⁾ ⁷⁾
Condiciones de Trabajo Extremas o Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	Modelo UIC 71	–	–	–	$0,80 \cdot Q_{v,32 V,k}$ ¹⁾ $0,80 \cdot q_{v,32 V,k}$ ¹⁾ ⁷⁾

Modelos de carga teóricos normalizados equivalentes al tráfico ferroviario en áreas portuarias. Valores representativos de las cargas (Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos con probabilidades de fallo menores que 5% en la correspondiente condición de trabajo) (continuación)

Notas

- 1) Considerando la amplificación de cargas verticales por efectos dinámicos.
- 2) Los efectos de la acción del viento sobre el tráfico ferroviario podrán obtenerse considerando que el viento actúa sobre una superficie virtual obtenida adoptando una altura de 4,00 m para ancho UCI y grandes anchos y 3,70 m para ancho métrico a partir del nivel de la vía de rodadura y la longitud en la dirección de circulación más desfavorable, independientemente de la posición de las cargas verticales.
- 3) No considerando la amplificación de cargas verticales por efectos dinámicos (por situación no operativa del ferrocarril).
- 4) Se adoptará como valor representativo el valor característico cuando el viento sea el agente climático predominante para el modo de fallo analizado. En el caso de que el viento no fuera el agente climático predominante, pero independiente de éste, se adoptará el valor de combinación. En otros casos, ver tabla 4.6.2.2.
- 5) Para probabilidades de fallo mayores del 5%, el valor característico en condiciones extremas será el obtenido considerando una velocidad del viento cuya probabilidad de excedencia en la fase de proyecto analizada sea igual a la probabilidad de fallo considerada.
- 6) Se adoptará como valor representativo el valor frecuente cuando el tráfico ferroviario sea el agente variable predominante para el modo de fallo analizado. En el caso de que el tráfico ferroviario no sea el agente variable predominante se adoptará el valor cuasi-permanente.
- 7) Simplificadamente, para obtener el valor frecuente y cuasi-permanente de las cargas transmitidas por el tráfico ferroviario en estas condiciones es aceptable no tomar en consideración la componente debida al viento.

a₂) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación en cada condición de trabajo sea la combinación poco probable o fundamental se utilizarán asimismo los valores representativos consignados en la tabla 4.6.4.3 I. Para la verificación de estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable sea la combinación frecuente o cuasi-permanente se adoptarán como valores representativos de las cargas equivalentes al tráfico ferroviario los valores frecuentes o cuasi-permanentes definidos en esa tabla para condiciones excepcionales.

a₃) Para la verificación de modos de parada operativa

Para valorar la operatividad de la instalación no se considerarán modos de parada operativa asociadas al agente tráfico ferroviario.

b) Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación correspondiente a los ciclos de solicitud asociados a condiciones de trabajo operativas es admisible considerar que las cargas incluidas en los modelos teóricos normalizados equivalentes al tráfico ferroviario en áreas portuarias se corresponden con valores nominales de los límites operativos establecidos por criterios de explotación para dicho tipo de tráfico y, por tanto, simplificadamente, carentes de incertidumbre estadística durante dicho ciclo. Las funciones de distribución de las componentes horizontales debidas al viento incluida en el modelo podrán obtenerse como funciones derivadas de las funciones de distribución de la velocidad del viento en dichas condiciones de trabajo (régimenes medios anuales truncados con el valor límite de operatividad del mismo o funciones de distribución condicionadas al valor de otro agente que determina las condiciones operativas, en el caso de que el viento sea dependiente de éste, truncadas asimismo por el valor límite de operatividad del viento en las condiciones de trabajo operativas consideradas.

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación correspondientes a otros ciclos de solicitud en los que se considere la actuación del agente tráfico ferroviario en situación operativa (condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental y extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica) puede considerarse que cada una de las cargas componentes incluidas en el modelo responden a funciones de distribución normal de media el 80% del valor característico y coeficiente de variación de 0,15, y que cada una de estas variables son

independientes entre sí. Las componentes verticales quedarán afectadas por el coeficiente de amplificación por efectos dinámicos. En los ciclos de solicitación con tren no operativo (condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario) puede considerarse que las cargas componentes verticales incluidas en los modelos responden a funciones de distribución normal de coeficiente de variación de 0,15 y de media el 80% del valor característico recogido en el modelo, sin considerar la amplificación debida a efectos dinámicos. En los ciclos de solicitación con tren no operativo no se considerará la actuación de las componentes horizontales incluidas en dichos modelos. En estos casos, la función de distribución de la componente debida al viento se puede definir como función de distribución derivada de la función de distribución marginal de la variable velocidad del viento en el emplazamiento correspondiente a condiciones extremas o medias según el ciclo de solicitación analizado, siempre que el viento sea el agente climático predominante o sea independiente del predominante en dicho ciclo (En los otros casos, ver apartado 4.6.2.1).

4.6.4.3.3. FORMULACIÓN DE LAS ACCIONES DEBIDAS A LOS AGENTES DE TRÁFICO TERRESTRE ($Q_{v,3}$)

Las cargas debidas al tráfico terrestre solicitan a las obras de atraque y amarre actuando, bien directamente sobre los elementos estructurales analizados, bien indirectamente a través de otros elementos estructurales, superestructuras o capas de reparto, así como aumentando empujes verticales y horizontales producidos por el terreno natural o los rellenos sobre los que actúan.

◆ **Cargas actuando directamente sobre un elemento estructural**

Cuando las cargas actúen directamente sobre un elemento estructural serán de aplicación los criterios establecidos para estos casos en el apartado 4.6.4.2.5 correspondiente a las acciones debidas a los agentes de manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros.

◆ **Cargas actuando indirectamente a través de otros elementos estructurales o superestructuras**

Cuando actúen indirectamente a través de otros elementos estructurales con capacidad de amortiguamiento de efectos dinámicos no se tendrán en cuenta estos efectos para la definición de las cargas actuantes (por ejemplo, en pilas, pilotes o cimentaciones). En estos casos, cuando se utilicen los valores representativos de las cargas incluidos en los modelos normalizados correspondientes a tráfico viario consignados en esta Recomendación, los cuales incluyen amplificación dinámica, las cargas tanto verticales como horizontales deberán minorarse por medio de un coeficiente 1,20 cuando se consideren tanto en los estados de proyecto representativos de los ciclos de operatividad, como en los estados sísmicos y en los estados asociados a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario. Por el contrario, en el modelo normalizado correspondiente a tráfico ferroviario consignado en esta Recomendación, los valores característicos de las cargas debidas a este agente no llevan incorporada la valoración de efectos dinámicos, por lo que en estos casos las cargas verticales no deberán multiplicarse por el coeficiente de amplificación por efectos dinámicos. Simultáneamente, cuando la transmisión de cargas se realice a través de un elemento estructural a otro (p.e. carril-tablero), para la obtención de las superficies de aplicación y la distribución de las cargas se tomarán en consideración las características físicas del apoyo entre los dos elementos y la existencia y localización de juntas de dilatación, así como la distribución de reacciones producida por la interacción entre los dos elementos estructurales en esas condiciones. Para ello deberán utilizarse modelos específicos de interacción estructural. Para las cargas correspondientes a tráfico ferroviario actuando a través del carril directamente sobre placa, como regla general y en ausencia de estudios más detallados es admisible considerar que las cargas concentradas verticales por eje incluidas en el modelo de carga se distribuyen uniformemente en sentido longitudinal.

◆ **Cargas actuando indirectamente a través de capas de reparto**

Cuando las cargas actúen indirectamente a través de capas de reparto de espesor mayor o igual que 1,50 m no se considerará la influencia de las componentes de amplificación dinámica ni las debidas a los efec-

tos inerciales (frenado y arranque, lazo, ...). Para capas de menor espesor podrá considerarse que las componentes dinámicas e inerciales actúan en superficie con un valor reducido en función de la profundidad del elemento resistente (reducción lineal con la profundidad entre su valor en superficie y su anulación en 1,50 m). En ambos casos, podrá considerarse adicionalmente que la distribución de cargas se realiza a 30°-45° desde la superficie de contacto hasta alcanzar el elemento estructural, según sea más desfavorable. No obstante lo anterior, la distribución de las cargas de tráfico ferroviario a través de traviesas apoyadas en balasto se realizará con pendientes 4 (vertical): 1 (horizontal).

◆ **Cargas actuando indirectamente a través de rellenos**

Los empujes adicionales verticales y horizontales debidos a la actuación de estas cargas a través de los rellenos pueden obtenerse de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 3.6 de la ROM 0.5-05 para las obras fijas abiertas y en el apartado 3.7 de la misma Recomendación para las obras fijas cerradas. Para estos casos tampoco se considerarán las componentes de las cargas debidas a la amplificación dinámica y efectos inerciales. En este caso, en ausencia de cálculos más precisos, simplificadaamente la carga vertical equivalente al tráfico ferroviario en la plataforma bajo la vía puede considerarse uniformemente distribuida en un ancho de 3,00 m a un nivel de 0,70 m por debajo de la superficie de rodadura de la vía, sin aplicar efectos dinámicos.

Para cada estado de proyecto, las acciones causadas por el tráfico terrestre tendrán igual consideración que el correspondiente agente, independientemente de que éste actúe directa o indirectamente. Así mismo, los valores representativos de las acciones y sus funciones de distribución pueden obtenerse o derivarse de los correspondientes a los agentes causantes por medio de las relaciones existentes entre ambos.

4.6.4.4. Operaciones de los buques ($q_{v,4}$)

El agente operaciones de los buques está asociado con las acciones debidas directa o indirectamente al buque cuando está navegando, cuando realiza las maniobras necesarias para atracar y/o amarrar en un puesto de atraque o viceversa, o cuando permanece en el puesto de atraque en condiciones adecuadas para su seguridad y la de otros buques y para que puedan desarrollarse con eficiencia las operaciones portuarias de carga, descarga, estiba, desestiba y trasbordo de mercancías y vehículos o de embarque y desembarque de pasajeros de acuerdo con los sistemas de manipulación adoptados.

En las obras de atraque y amarre se diferencian los siguientes agentes de operaciones de buques:

- ◆ Efectos hidrodinámicos inducidos por los buques en tránsito ($q_{v,41}$).
- ◆ Acciones de atraque ($q_{v,42}$).
- ◆ Impacto accidental de buque durante las operaciones de atraque ($q_{v,43}$).
- ◆ Corrientes generadas por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques ($q_{v,44}$).
- ◆ Acciones debidas a los portalones del buque ($q_{v,45}$).
- ◆ Acciones de amarre ($q_{v,46}$).

Los principales factores que intervienen en la definición y caracterización de estos agentes son:

- ◆ El tamaño, composición y características de la flota previsible de buques en el atraque, así como en las dársenas y canales adyacentes al mismo.
- ◆ La configuración geométrica y morfológica del atraque y de las dársenas y canales adyacentes.
- ◆ Las condiciones y criterios de explotación de la instalación portuaria.
- ◆ Las condiciones de aproximación de los buques al puesto de atraque y amarre, así como los medios y dotaciones utilizados para facilitar la maniobrabilidad de los mismos (sistemas de propulsión, hélices transversales, disponibilidad de remolcadores, ...).
- ◆ La naturaleza, configuración y características del sistema de atraque y amarre, incluyendo la existencia y compatibilidad con diversos tipos de equipamientos y sistemas de atraque y amarre como defensas, líneas de amarre, boyas de amarre, ...

- ◆ Los agentes del medio físico en el emplazamiento, particularmente el viento, las oscilaciones del mar, las corrientes y los niveles de las aguas exteriores, así como las condiciones límite de operación que se establezcan para ellos en cada una de las condiciones de trabajo operativas.

4.6.4.4.1. DEFINICIÓN DE LA FLOTA DE BUQUES EN EL ATRAQUE. BUQUES DE PROYECTO

El tamaño, composición y características de la flota previsible de buques, tanto en el atraque como en las áreas portuarias adyacentes al mismo, durante el intervalo de tiempo considerado constituyen el principal factor que interviene en la definición y caracterización de los agentes de operaciones de buques, así como en el dimensionamiento de la obra de atraque en planta y alzado (Ver apartado 3.2). Sin olvidar su influencia en el establecimiento de las condiciones de utilización de la instalación y en la definición de los equipos, medios y criterios de explotación de la misma, los cuales intervienen en la definición de otros factores de uso y explotación, particularmente los asociados con la manipulación de mercancías y con el embarque y desembarque de pasajeros.

Los parámetros representativos que permiten caracterizar al buque son:

- ◆ Tipología del buque en relación con el tipo y forma de presentación de la mercancía o pasajero transportados (petrolero, gasero, granelero, portacontenedores, ro-ro, transportador de coches, ferry, crucero, pesquero,).
- ◆ Parámetros geométricos (eslora, calado, manga, puntal, francobordo, dimensiones de los portalones, ...).
- ◆ Parámetros relacionados con la capacidad y/o la situación de carga (Tonelaje de peso muerto, desplazamiento máximo o a plena carga, tonelaje de registro bruto, desplazamiento en lastre, capacidad de carga de los portalones, ...).
- ◆ Características de maniobrabilidad y de operatividad náutica durante las operaciones de atraque y desatraque.
- ◆ Velocidad máxima de servicio en el área de navegación considerada.

La definición de los parámetros geométricos y los de capacidad y/o de situación de carga, así como las relaciones usuales entre los mismos para cada tipología de buque, se incluyen en la tabla 4.6.4.32.

Las características de maniobrabilidad náutica de los buques durante las operaciones de atraque y desatraque se incluyen en el apartado 4.6.4.4.5. Efectos debidos a las hélices y otros equipos de propulsión de los buques.

Los aspectos asociados con la velocidad de servicio en el área de navegación considerada se incluyen en el apartado 4.6.4.4.2. Efectos hidrodinámicos inducidos por el buque navegando.

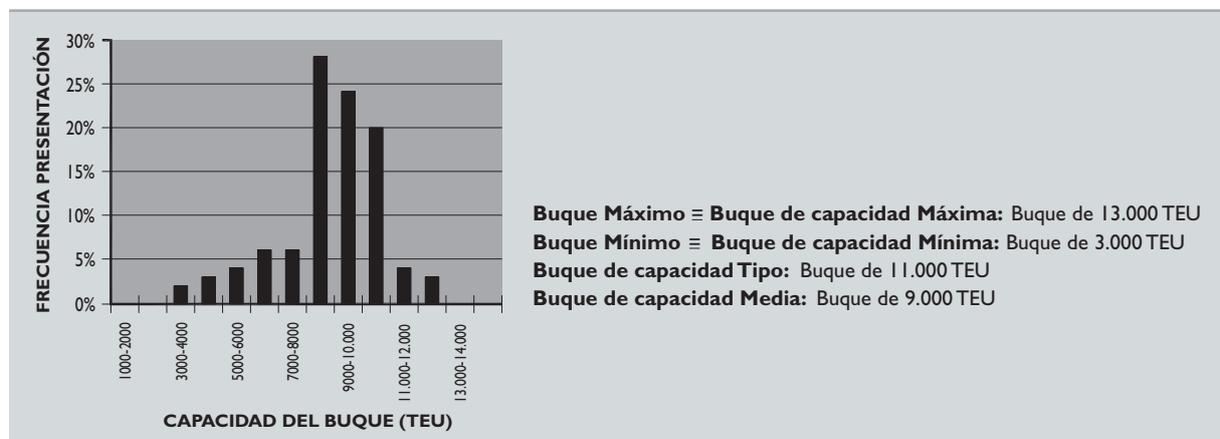
La composición y características de la flota prevista de buques en la obra de atraque o en el tramo de la misma considerado será definida por el Promotor por medio de las funciones de densidad y de distribución conjunta de los parámetros representativos de los buques que se esperan en el atraque, en las situaciones de carga en la que puedan presentarse, que sean relevantes para la determinación de los agentes y acciones a considerar, así como para los dimensionamientos y verificaciones en los intervengan el buque. Estas funciones relacionan los diversos conjuntos de valores de los parámetros representativos del buque considerados con la probabilidad de que dichos valores se presenten en el intervalo de tiempo considerado (en general, el año medio). A estos efectos deberá también considerarse como parámetro representativo la tipología del buque.

En el caso de que los buques que componen la flota prevista en el atraque no estén nominalmente identificados, pero estén identificados por sus tipologías y por un único parámetro representativo de los mismos (p.e. desplazamiento a plena carga, eslora total o calado máximo) y, por tanto, no sea posible conocer la función de densidad conjunta de todos los parámetros representativos, la definición de la flota esperada de buques podrá realizarse simplíficadamente por medio de las funciones de densidad y de distribución bivariadas de dicho parámetro y de la tipología de los buques. En el caso de que la flota de buques sea homogénea a efectos de tipología, la definición de la flota prevista de buques se realizará por medio

de las funciones de densidad y distribución marginales del parámetro representativo considerado (Ver ejemplo figura 4.6.4.4bis) ⁽⁵¹⁾. En estos casos, el resto de los parámetros representativos de cada uno de los buques, incluida la situación de carga, podrán considerarse correlacionados con dicho parámetro adoptado como principal. Estas correlaciones podrán definirse por medio de las funciones de distribución del parámetro correlacionado, condicionadas a cada valor del parámetro principal, a la tipología del buque y a las situaciones de carga del mismo en las que pueda encontrarse en el atraque, considerando para su obtención todos los buques existentes en el mercado de cada tipología que operan en la zona geográfica ⁽⁵²⁾. Dichas funciones de distribución podrán utilizarse en las formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación. En los casos en los que el Promotor de la instalación no establezca las situaciones de carga límite del buque en el atraque se considerará que puede encontrarse tanto en situación de plena carga como en lastre ⁽⁵³⁾.

Para formulaciones deterministas o semiprobabilistas, a cada uno de los buques de la flota prevista en el atraque se les asignarán como otros parámetros representativos los correspondientes a un cuantil del 85% o del 15% en las citadas funciones de distribución de las variables correlacionadas condicionadas al valor del parámetro principal y a la tipología del buque, dependiendo de que sean más desfavorables los valores superiores o los inferiores de las variables correlacionadas para el modo de fallo analizado. En un mismo buque podrán combinarse valores de los parámetros representativos correspondientes a ambos cuantiles, siempre y cuando el coeficiente de bloque resultante se mantenga en el intervalo 90-110% referido a los rangos de los valores medios usuales de dicho coeficiente en los buques de su tipología (Ver órdenes de magnitud de los valores medios de los coeficientes de bloque en la tabla 4.6.4.32).

Figura 4.6.4.4bis Definición de la composición y características de la flota esperada de buques en la obra de atraque y amarre en un intervalo de tiempo determinado por medio de la función de densidad del parámetro representativo: capacidad de carga del buque. Ejemplo del atraque de una terminal de contenedores



(51) En general, estas funciones de distribución no serán funciones continuas sino funciones discontinuas, obtenidas a partir de la realización de un histograma, adoptando distintos rangos de valores del parámetro representativo considerado correspondientes a los buques que es esperable que lleguen al puesto de atraque en el intervalo de tiempo considerado. En el caso de que se utilicen funciones continuas, éstas deben ser truncadas, ya que no tiene sentido que un buque pueda tener dimensiones infinitas, nulas o negativas.

(52) Cuando, de forma no conveniente, las tipologías de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque no estén expresamente identificadas por el Promotor, las funciones de distribución del resto de parámetros representativos condicionadas a cada valor del parámetro adoptado como principal se podrían obtener de forma equivalente considerando todos los buques que operan en la zona geográfica sin diferenciar tipologías. No obstante, esto puede dar lugar fácilmente a la generación de buques teóricos que no son representativos de la realidad, con coeficientes de bloque fuera de todo rango. Por dicha razón, en estos casos es preferible considerar que la flota esperable en el atraque es homogénea tipológicamente, adoptando a estos efectos como tipología de la flota la más probable para los usos esperables para la instalación de atraque dadas las condiciones del emplazamiento.

(53) Función de distribución uniforme discreta. Es decir, $f(\text{buque a plena carga}) = f(\text{buque en lastre}) = 0,5$.

Tabla 4.6.4.32. Definición de los parámetros representativos geométricos de capacidad y de situación de carga del buque y relaciones entre los mismos ¹⁾

A. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS	
Eslora total (L)	Longitud máxima del casco del buque medida de proa a popa.
Eslora entre perpendiculares (L_{pp})	Distancia medida sobre el plano de crujía entre la perpendicular de proa (línea vertical trazada por la intersección de la flotación, en la condición de máxima carga, en agua salada y en verano, y el canto de proa) y la perpendicular de popa (línea vertical trazada por la intersección de la flotación, en la condición de máxima carga, en agua salada y en verano, y el vano de codaste).
Manga (B)	Mayor anchura del buque.
Calado estático (D_e)	Distancia vertical máxima entre un punto del casco sumergido del buque y la línea de flotación, en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano. Suele medirse en el punto medio de la eslora entre perpendiculares bajo la quilla o tomarse la media entre los calados a proa y popa. El calado máximo se corresponde con la condición de máxima carga permitida. El calado mínimo en condiciones de navegabilidad se corresponde con la condición en lastre. En otras situaciones de los buques (p.e. condición en rosca) pueden presentarse calados menores (p.e. en astillero), aunque en estas condiciones el buque no puede navegar.
Puntal (T)	Altura máxima del casco del buque desde la quilla hasta la cubierta principal.
Francobordo (G)	Distancia vertical medida desde la línea de flotación hasta la cubierta principal del buque, en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano. El francobordo mínimo se corresponde con la condición de máxima carga. El francobordo máximo en condiciones de navegabilidad se corresponde con la condición en lastre. En otras situaciones de los buques pueden presentarse mayores francobordos (p.e. situación en rosca), aunque en estas condiciones los buques no pueden navegar ($G = T \cdot D_e$).
Longitud del tramo recto del casco del buque (PBL: Parallel Body Length)	Longitud horizontal del tramo plano y vertical del casco del buque por encima de la línea de flotación, en una determinada situación de carga, en agua salada y en verano.
Área transversal emergida ($A_{T,emer}$)	Área de la proyección del buque sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del mismo por encima de la línea de flotación, en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano, incluyendo todos sus elementos pero no las mercancías sobre cubierta. El área transversal emergida mínima se corresponde con la condición de máxima carga y el área máxima en condiciones de navegabilidad se corresponde con la condición en lastre. En otras situaciones de los buques (p.e. situación en rosca) pueden presentarse mayores áreas transversales emergidas, aunque en estas condiciones los buques no pueden navegar.
Área longitudinal emergida ($A_{L,emer}$)	Área de la proyección longitudinal del buque sobre el plano de crujía del mismo por encima de la línea de flotación, en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano, incluyendo todos sus elementos pero no las cargas sobre cubierta. El área longitudinal emergida mínima se corresponde con la condición de máxima carga y el área máxima en condiciones de navegabilidad se corresponde con la condición en lastre. En otras situaciones de los buques (p.e. situación en rosca) pueden presentarse mayores áreas longitudinales emergidas, aunque en estas condiciones los buques no pueden navegar.

Definición de los parámetros representativos geométricos de capacidad y de situación de carga del buque y relaciones entre los mismos ¹⁾ (continuación)

Area transversal sumergida ($A_{T, \text{sumer}}$)	Área de la proyección del buque sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del mismo por debajo de la línea de flotación, en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano. El área transversal sumergida máxima se corresponde con la condición de máxima carga y el área mínima en condiciones de navegabilidad se corresponde con la condición en lastre. En otras situaciones de los buques (p.e. situación en rosca) pueden presentarse menores áreas transversales sumergidas, aunque en estas condiciones los buques no pueden navegar.
Area longitudinal sumergida ($A_{L, \text{sumer}}$)	Área de la proyección longitudinal del buque sobre el plano de crujía del mismo por debajo de la línea de flotación, en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano. El área longitudinal sumergida máxima se corresponde con la condición de máxima carga y el área mínima en condiciones de navegabilidad se corresponde con la condición en lastre. En otras situaciones de los buques (p.e. situación en rosca) pueden presentarse menores áreas longitudinales sumergidas, aunque en estas condiciones los buques no pueden navegar.
Otros	Trimado estático: diferencia entre el calado estático en proa y en popa, en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano.
	Distancia entre el centro geométrico del buque y el centro de tomas en buques tanque.
	Radio de curvatura del casco del buque en planta en la zona de proa.
	Longitud y anchura de la rampa o portalón, así como altura del eje de giro del portalón (charnela) sobre el plano de flotación en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano (en buques ferry o ro-ro).
B. PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA CAPACIDAD O SITUACIÓN DE CARGA	
Tonelaje de Peso Muerto (TPM) ²⁾	Peso en toneladas métricas correspondiente a la carga útil máxima más el combustible, aceite lubricante, agua, pañoles, tripulación y pertrechos.
Desplazamiento en rosca (Δ_{rosca})	Peso total del buque, equivalente al peso del volumen de agua desalojado, según sale del astillero. Puede determinarse como la diferencia entre el desplazamiento a plena carga (Δ_{PC}) y el Tonelaje de Peso Muerto (TPM) y suele corresponder a un 15% - 25% del desplazamiento a plena carga. En estas condiciones el buque no puede navegar.
Desplazamiento en lastre (Δ_{lastre})	Peso del buque incluyendo pertrechos, tripulación, provisiones combustible y agua. El buque no lleva carga pero sí el mínimo peso de lastre para que el buque pueda navegar y maniobrar con seguridad. Se corresponde aproximadamente con el Desplazamiento en rosca (Δ_{rosca}) más un 20%-40% del Tonelaje de Peso Muerto (TPM) o con el 30%-50% del desplazamiento a plena carga (Δ_{PC}), salvo en buques de crucero que puede ser del orden del 80%.
Desplazamiento máximo o a plena carga (Δ_{PC})	Peso total del buque cargado con la máxima carga permitida.
Coefficiente de bloque (C_b)	<p>Cociente entre el desplazamiento de buque en una determinada condición de carga (Δ), expresado en peso, y el producto de $L_{1f} \cdot B_{1f} \cdot D_{1f} \cdot \gamma_w$, siendo L_{1f}, B_{1f}, y D_{1f} la eslora, la manga y el calado del buque a la altura de la línea de flotación en la condición de carga considerada y γ_w el peso específico del agua. Es decir, $C_b = \Delta / (L_{1f} \cdot B_{1f} \cdot D_{1f} \cdot \gamma_w)$.</p> <p>Puede considerarse que en cualquier condición de carga el coeficiente de bloque de un buque de formas muy llenas ($PBL > 0,50 \cdot L_{pp}$) permanece constante. Para otros tipos de buques puede suponerse que el coeficiente de bloque se mantiene constante para cualquier condición de carga comprendida entre el 60% y el 100% de la plena carga y puede tener decrementos de hasta el 10% del valor anterior para condiciones de carga inferiores al 60% de la plena carga. Por dicha razón esta formulación puede utilizarse para obtener las relaciones entre el desplazamiento y el calado del buque en condiciones de carga parcial conocido u obtenido el Coeficiente de Bloque.</p> <p>El coeficiente de bloque a plena carga suele variar entre 0,50 a 0,90 para buques marítimos, entre 0,80 y 0,90 para barcasas de navegación interior; entre 0,30 a 0,50 para buques de guerra y entre 0,30 y 0,60 para pesqueros. Valores más concretos de los órdenes de magnitud del coeficiente de bloque para buques marítimos, en función de la tipología del buque son:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Petroleros y quimiqueros: 0,75-0,90 – Gaseros: 0,55-0,80 – Graneleros: 0,70-0,85 – Mercantes de carga general: 0,55-0,85 – Portacontenedores: 0,60-0,75 – Transportadores de coches: 0,55-0,70 – Ro-ro: 0,55-0,80 – Ferries convencionales: 0,55-0,65 – Ferries rápidos: 0,40-0,50 – Cruceros: 0,55-0,75

Definición de los parámetros representativos geométricos de capacidad y de situación de carga del buque y relaciones entre los mismos 1) (continuación)

Arqueo Bruto (GT) 2)	Volumen o capacidad interior total de todos los espacios cerrados del buque, determinado con las disposiciones del Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de 1969 de la OMI.
Tonelaje de Registro Bruto (TRB) 2)	Volumen o capacidad interior de un buque medio en toneladas de registro. La tonelada Moorson equivale a 100 pies ³ ; es decir, a 2,83 m ³ .
Otros	Algunas tipologías de buques utilizan otros parámetros de capacidad de carga. Así es el caso de los buques metaneros (LNG) y transportadores de gases licuados (LPG) que se designan por su capacidad de carga en m ³ , los portacontenedores que se designan por su capacidad en unidades TEU (Número de contenedores tipo equivalentes de 20'), los transportadores de coches por su capacidad en unidades RT (car units) o unidades CEU (número de coches tipo equivalentes), los ro-ro y ferries por su capacidad en metros lineales de carga o número de plataformas y los cruceros por el número de pasajeros. No pueden establecerse relaciones generalizables entre estos parámetros y cualquiera de los parámetros de capacidad contemplados en las otras celdas de la tabla (TPM, Δ_{PC} , GT y TRB).

Notas

- 1) Las relaciones entre los distintos parámetros representativos de la capacidad de carga del buque dependen de múltiples factores (tipo de buque, dimensiones, tipo de carga y su distribución, etc.) por lo que no es fácil establecer expresiones adecuadas. No obstante y a falta de datos más precisos, para valores medios podrán aproximarse mediante las expresiones siguientes:

$$\Delta_{PC} = \gamma_{TPM} \cdot TPM = \gamma_{GT} \cdot GT = \gamma_{TRB} \cdot TRB$$

Los coeficientes γ pueden obtenerse de la tabla siguiente:

	γ_{TPM}	γ_{GT}	γ_{TRB}
PETROLEROS PARA CRUDO	1,10-1,50	2,10-2,40	1,80
TRANSPORTADORES PRODUCTOS PETROLÍFEROS Y QUÍMICOS	1,30-1,60	2,40-2,80	1,80
METANEROS (LNG)	1,40-1,60	1,10-1,20	0,85
TRANSPORTADORES DE GASES LICUADOS (LPG)	1,60-1,80	1,60-2,50	0,85
GRANELEROS Y POLIVALENTES	1,00-1,40	2,10-2,40	2,00
MERCANTES DE CARGA GENERAL	1,40-1,70	2,50-3,00	1,40-2,00
PORTACONTENEDORES (mayores que tipo PANAMAX)	1,20-1,40	1,40-1,60	1,20
PORTACONTENEDORES (hasta tipo PANAMAX)	1,40-1,60	1,60-1,80	1,20
TRANSPORTADORES DE COCHES	1,60-1,90	0,60-0,70	0,80
RO-RO	1,60-2,40	0,90-1,40	0,80
FERRIES CONVENCIONALES	1,00-1,20	1,50-1,80	0,80-1,00
BUQUES DE PASAJEROS	–	0,70-1,20	0,80-1,00
CRUCEROS	4,5-5,5	0,45-0,60	0,60-1,20
PESQUEROS DE BAJURA	–	1,10-1,40	2,00-2,50
PESQUEROS DE ALTURA	–	0,95-1,10	1,20-2,00

- (*) Los valores más altos en los rangos de coeficientes γ se aplicarán a los buques de menor desplazamiento del tipo definido.
 2) El TPM suele utilizarse como parámetro de referencia de la capacidad de carga del buque especialmente para los buques cuya principal finalidad es transportar cargas que ocupan todo el espacio disponible (petroleros, graneleros, carga general y polivalentes,...), mientras que el GT o el TRB es más indicado para buques que transportan cargas que no ocupan todo el espacio disponible y en los que su capacidad de carga está mejor identificada por un volumen que por un peso (ferries, buques de pasaje, cruceros, pesqueros ...).

A falta de datos más precisos, si el parámetro principal considerado es el parámetro de referencia de la capacidad de carga de los buques (TPM, TEU, GT o TRB en función de la tipología del buque) o la eslora del buque en el caso de embarcaciones deportivas o de recreo, los valores de algunos otros parámetros asociados al cuantil del 85% pueden obtenerse para cada tipología de buque en la tabla 4.6.4.33, siempre que se considere como población todos los buques existentes en el mercado correspondientes a dicha tipología. En las mismas condiciones, los valores asociados al cuantil del 15% podrán aproximarse con carácter general multiplicando por 0,80 los consignados en la citada tabla y los asociados con el cuantil del 50% (valores medios) multiplicándolos por

0,90. Para aquellas correlaciones no contempladas en dicha tabla podrán utilizarse las relaciones aproximadas entre parámetros recogidas en la tabla 4.6.4.32, las cuales se consideran aplicables a valores medios.

Para este tipo de formulaciones, la flota de buque esperada en el atraque podrá definirse simplificada por medio de los siguientes buques de proyecto, para cada tipología diferenciada de buques perteneciente a dicha flota, obtenidos a partir de la función de distribución del parámetro representativo que se ha adoptado como principal para caracterizar la flota de buques esperable en el atraque:

BUQUE MÁXIMO (Asociado a una determinada tipología)	BUQUE MÍNIMO (Asociado a una determinada tipología)
Buque de la tipología considerada con mayor magnitud del parámetro representativo adoptado como principal ⁽⁵⁴⁾	Buque de la tipología considerada con menor magnitud del parámetro representativo adoptado como principal ⁽⁵⁵⁾

A los buques máximo y mínimo se les asignarán como otros parámetros representativos los correspondientes al cuantil del 85% o del 15% en la funciones de distribución de las variables correlacionadas condicionadas al valor del parámetro principal, a la tipología del buque considerada y a las situaciones de carga del mismo, de acuerdo con lo dispuesto en este apartado para las formulaciones deterministas o semiprobabilistas.

Complementariamente, para cada uno de los parámetros representativos de los buques (eslora, calado, manga, ...), se definirán los siguientes buques de proyecto que caracterizan a la totalidad de la flota esperada en el atraque respecto de dicho parámetro, con independencia de la existencia o no de tipologías diferenciadas en los buques pertenecientes a la misma:

BUQUE DE ... MÁXIMO ⁽⁵⁶⁾ (Asociado a un determinado parámetro representativo)	BUQUE DE ... MÍNIMO (Asociado a un determinado parámetro representativo)	BUQUE DE ... TIPO (Asociado a un determinado parámetro representativo)	BUQUE DE ... MEDIO (Asociado a un determinado parámetro representativo)
Buque de la flota con mayor magnitud del parámetro representativo considerado	Buque de la flota con menor magnitud del parámetro representativo considerado	Buque de la flota cuya magnitud del parámetro representativo considerado es excedido por el 15% de las llegadas	Buque de la flota cuya magnitud del parámetro representativo considerado es excedido por el 50% de las llegadas

Si el Promotor no está en condiciones de precisar de forma fiable, completa y suficiente la composición y características de la flota de buques esperable en la instalación portuaria en la fase de proyecto considerada, de forma que permita su caracterización mediante funciones de distribución de alguno de sus parámetros representativos, deberá definir, en cualquier caso, como mínimo los buques de proyecto consignados en las tablas anteriores a partir del parámetro representativo del mismo que se adopte como principal. Los buques máximos y mínimos así definidos se considerarán como límites de explotación superiores e inferiores, debiéndose consignar en el reglamento de explotación de la instalación. Es decir, que la instalación portuaria quedará restringida a buques de dimensiones o características de carga acotadas entre los límites establecidos ⁽⁵⁶⁾.

(54) Dado que las funciones de distribución de los parámetros representativos de la flota de buques esperables en el atraque son funciones discontinuas, los valores característicos maximales y minimales del parámetro representativo del buque de proyecto no se corresponden respectivamente con los cuantiles del 95% y del 5% de la función de distribución que normalmente se utilizan para definir los valores característicos, adoptándose en este caso los valores máximos y mínimos.

(55) Ejemplo de buques de proyecto asociados con el parámetro representativo "eslora": Buque de eslora máxima, buque de eslora mínima, buque de eslora tipo y buque de eslora media.

(56) En función del proceso de verificación considerado pueden ser relevantes los buques máximos o los mínimos. Los buques máximos pueden ser generalmente relevantes para la definición de la instalación de atraque en planta y alzado, para la consideración de los equipos de carga y descarga del buque adecuados y, generalmente aunque no siempre, para la determinación de las acciones debidas a las operaciones del buque, entre otros. No obstante, para la definición de algunos aspectos como la distancia mínima entre defensas o entre puntos de amarre son relevantes los buques mínimos.

En el caso de que el Promotor definiera por cualquier circunstancia únicamente un único buque de proyecto se considerará que el buque máximo, mínimo, el tipo y el medio son idénticos a dicho buque (composición homogénea de la flota de buques). Si definiera únicamente el buque máximo y el mínimo se considerará que el buque tipo y el medio coinciden con el máximo o el mínimo en función de cual es el más desfavorable para el proceso de verificación considerado.

En estos casos, como norma general para la definición de los agentes de operaciones de buques se recomienda la caracterización de los buques de proyecto a partir de la adopción de parámetro de referencia de la capacidad de carga para cada tipología de buque (TPM, TEU, GT, TRB) como parámetro principal representativo del buque, o de la eslora (L) en el caso de las embarcaciones deportivas y de recreo, derivándose a partir de éste el resto de parámetros representativos, tomando en consideración la tipología del buque fijada por el Promotor o, en el caso que no la definiera, la más compatible con el uso establecido para la obra de atraque. Tal como se ha señalado con carácter general, se adoptarán como valores representativos del resto de parámetros los correspondientes a un cuantil del 85% (o del 15% en el caso de que sea más desfavorable) de la función de distribución de la variable correlacionada condicionada al valor del parámetro principal y a la tipología del buque considerada. A falta de datos más precisos (p.e. utilizando los datos más actualizados del Lloyd's Maritime Information Services), para algunos buques característicos estos valores pueden obtenerse por medio de la tabla 4.6.4.33 de esta Recomendación o a partir de la tabla 3.1 de la ROM 3.1-99. En estas tablas se recogen con carácter general las correlaciones existentes entre el parámetro de referencia de la capacidad de carga del tipo de buque (columna más a la izquierda de la tabla) y algunos otros parámetros representativos del buque, considerando todos los buques existentes en el mercado correspondientes a dicha tipología. Para aquellas correlaciones no contempladas en dicha tabla podrán utilizarse igualmente las relaciones aproximadas entre parámetros recogidas en la tabla 4.6.4.31, tomando en consideración que son de validez para valores medios.

4.6.4.4.2. EFECTOS HIDRODINÁMICOS INDUCIDOS POR LOS BUQUES EN TRÁNSITO ($q_{v,41}$)

Los principales efectos hidrodinámicos inducidos por los buques en tránsito que pueden afectar a las obras de atraque y amarre son las corrientes de retorno, los descensos de los niveles de las aguas y las ondas generados por el movimiento de los buques en tránsito en las proximidades de dichas obras o que al propagarse alcanzan a las mismas. En definitiva las diversas componentes de agitación de las aguas inducidas por los buques en tránsito.

Al igual que las corrientes y el oleaje considerados como agente climático (Ver apartado 4.6.2.1), estas corrientes, variaciones de los niveles de las aguas y oleajes considerados como agentes operativos pueden tener efectos directos sobre las obras de atraque y amarre ejerciendo fuerzas o modificando los empujes sobre las estructuras, banquetas y mantos de protección, así como produciendo arrastres, socavaciones y otras erosiones externas, o indirectos a través del buque amarrado o del buque durante las operaciones de atraque, por lo que deben tomarse en consideración en los procesos de verificación tanto de los modos de fallo como de los modos de parada operativa. Algunos de estos efectos pueden tener una incidencia significativa e incluso ser agentes predominantes particularmente en las obras de atraque situadas en las proximidades de canales de acceso y otras vías de navegación en áreas interiores o abrigadas frente a las oscilaciones del mar, las corrientes y otros agentes del medio físico, particularmente en las que no esté limitada la velocidad de navegación de los buques por condiciones o normas de explotación.

Otro de los efectos producidos por el paso de un buque navegando en las proximidades de un buque amarrado o de un buque durante las operaciones de atraque es la generación de fuerzas horizontales de succión y rechazo entre el buque en tránsito y el amarrado o en fase de atraque causadas principalmente por las asimetrías del flujo de agua que se producen alrededor del casco del buque en tránsito y, por tanto, por la alteración de presiones sobre el casco de ambos buques.

La magnitud de estos efectos depende del tipo de buque en tránsito (principalmente de la forma del casco), de sus características geométricas y de capacidad de carga, de las características de la navegación (proporcional a la velocidad relativa del buque con respecto al agua y a la excentricidad de la posición del mismo en la vía de navegación), así como de las dimensiones y geometría del área de navegación (inversamente proporcional a sus dimensiones). En el caso de los efectos de succión y rechazo dependen adicionalmente de las características geométricas y de capacidad de carga del buque amarrado o en fase de atraque, así como de la separación entre éste y el buque en tránsito.

Tabla 4.6.4.33. Parámetros representativos de los buques en función de su tipología y capacidad de carga ¹⁾

TIPO DE BUQUE	CLASE	TMP	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)	B (m)	T (m)	
PETROLEROS Y TRANSPORTADORES DE PRODUCTOS PETROLÍFEROS Y QUÍMICOS (Tankers)	SUPERTANKERS ²⁾	500.000	650.000	456	431	80,3	36,5	
		450.000	585.000	410	394	77,0	35,0	
	ULCC ³⁾	350.000	462.000	401	393	65,5	34,8	
		300.000	399.000	388	382	62,2	34,6	
	VLCC ⁴⁾	250.000	335.000	363	356	59,0	32,0	
		200.000	271.000	341	336	54,8	30,0	
	SUEZMAX ⁵⁾	175.000	238.700	330	323	53,0	28,5	
		150.000	206.000	312	306	50,2	27,1	
		125.000	171.600	297	291	44,7	25,3	
	AFRAMAX ⁶⁾	100.000	140.000	274	268	44,2	23,5	
		80.000	113.000	258	251	43,2	21,9	
	PANAMAX ⁷⁾	70.000	99.200	245	239	39,6	20,8	
		50.000	72.000	220	215	32,3	18,5	
	PRODUCT CARRIER	30.000	44.200	188	182	30,4	15,4	
		20.000	30.000	165	160	26,8	13,4	
		15.000	22.800	151	146	24,5	12,1	
		10.000	15.500	133	128	21,6	10,5	
5.000		7.970	107	102	17,5	8,2		
1.000		1.710	64	61	10,6	4,7		
TIPO DE BUQUE	CLASE (CAPACIDAD)	GT	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)	B (m)	T (m)	
GASEROS (Gas Carriers)	Q-MAX LNGC ⁸⁾ (266.000 m ³) ⁹⁾	160.000	176.000	345	332	53,8	27,0	
	Q-FLEX LNGC (220.000 m ³) ⁹⁾	130.000	143.000	315	303	50,0	27,0	
	VLGC ¹⁰⁾	Esférico (140.000 m ³)	100.000	110.600	289	274	48,5	26,5
		Membrana (140.000 m ³)	95.000	105.000	279	266	42,6	26,5
	LPGC ¹¹⁾ ¹²⁾	(100.000 m ³)	50.000	87.000	247	235	38,9	24,3
		(70.000 m ³)	30.000	55.100	211	200	33,4	20,2
		(30.000 m ³)	20.000	38.500	186	176	29,6	17,5
		(20.000 m ³)	15.000	29.900	170	161	27,2	15,8
	LPGC ¹¹⁾ ¹²⁾	(10.000 m ³)	10.000	20.900	150	141	24,1	13,7
		(7.500 m ³)	5.000	11.300	121	114	19,6	10,7
(1.500 m ³)		1.000	2.740	74	68	12,2	6,0	
TIPO DE BUQUE	CLASE	TMP	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)	B (m)	T (m)	
GRANELEROS (Bulk Carriers)	VLBC ¹³⁾	400.000	460.000	385	370	64,0	32,5	
		350.000	406.000	372	357	60,5	31,2	
		300.000	350.000	360	348	57,4	30,0	
		250.000	287.000	340	333	53,8	28,2	
		200.000	232.000	319	311	50,2	26,4	

$D_{e max}$ (m)	$A_{T.emer max}$ (m ²)	$A_{T.emer min}$ (m ²)	$A_{L.emer max}$ (m ²)	$A_{L.emer min}$ (m ²)	$A_{T.sumer max}$ (m ²)	$A_{T.sumer min}$ (m ²)	$A_{L.sumer max}$ (m ²)	$A_{L.sumer min}$ (m ²)
26,4	2.710	1.813	11.620	5.990	1.928	1.071	10.344	5.829
25,0	2.575	1.733	10.917	5.648	1.750	1.069	8.955	5.471
24,2	2.190	1.475	9.408	5.250	1.441	847	8.647	5.079
22,3	2.080	1.400	8.570	5.080	1.261	752	7.745	4.619
21,1	1.875	1.275	7.655	4.565	1.132	678	6.829	4.089
19,8	1.670	1.150	6.740	4.050	987	581	6.049	3.561
18,6	1.545	1.080	6.215	3.750	897	532	5.462	3.234
18,2	1.420	1.010	5.690	3.450	831	485	5.063	2.955
17,6	1.280	920	5.080	3.100	717	425	4.657	2.764
16,2	1.140	830	4.470	2.750	651	377	3.948	2.281
15,3	1.014	752	3.945	2.440	601	325	3.491	1.884
14,6	935	701	3.620	2.250	525	299	3.173	1.804
13,2	777	598	2.970	1.870	388	242	2.580	1.605
11,4	587	469	2.190	1.400	316	175	1.887	1.047
10,1	469	387	1.730	1.120	247	135	1.470	806
9,3	401	338	1.460	950	208	113	1.235	670
8,3	320	279	1.150	760	164	88	967	517
6,8	219	201	760	516	109	57	631	328
4,2	94	90	293	210	41	21	234	117
$D_{e max}$ (m)	$A_{T.emer max}$ (m ²)	$A_{T.emer min}$ (m ²)	$A_{L.emer max}$ (m ²)	$A_{L.emer min}$ (m ²)	$A_{T.sumer max}$ (m ²)	$A_{T.sumer min}$ (m ²)	$A_{L.sumer max}$ (m ²)	$A_{L.sumer min}$ (m ²)
12,2	1.795	1.670	8.900	8.065	657	515	4.051	3.174
12,3	1.650	1.550	8.300	7.500	615	458	3.737	2.775
12,5	1.900	1.800	8.750	8.250	607	392	3.425	2.212
12,3	1.300	1.250	6.660	6.150	525	383	3.272	2.391
12,8	1.360	1.250	5.240	4.740	453	360	2.735	2.170
12,8	1.026	946	3.850	3.460	389	268	2.328	1.601
11,9	822	756	3.010	2.700	321	213	1.905	1.262
11,0	702	645	2.530	2.260	273	181	1.610	1.067
9,8	563	515	1.980	1.770	216	144	1.257	842
8,0	385	351	1.300	1.160	143	97	830	560
5,0	160	144	493	431	56	40	310	218
$D_{e max}$ (m)	$A_{T.emer max}$ (m ²)	$A_{T.emer min}$ (m ²)	$A_{L.emer max}$ (m ²)	$A_{L.emer min}$ (m ²)	$A_{T.sumer max}$ (m ²)	$A_{T.sumer min}$ (m ²)	$A_{L.sumer max}$ (m ²)	$A_{L.sumer min}$ (m ²)
24,0	1.927	1.196	8.741	4.552	1.397	949	8.073	5.485
23,0	1.822	1.131	8.446	4.398	1.266	868	7.465	5.121
21,8	1.728	1.073	8.183	4.261	1.139	768	6.898	4.653
20,4	1.620	1.006	7.720	4.020	999	658	6.177	4.071
19,1	1.460	926	6.860	3.660	872	570	5.400	3.526

Parámetros representativos de los buques en función de su tipología y capacidad de carga ¹⁾ (continuación)

TIPO DE BUQUE	CLASE	TMP	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)	B (m)	T (m)
GRANELEROS (Bulk Carriers)	CAPESIZE ¹⁴⁾	150.000	177.000	294	286	45,9	24,2
		100.000	121.000	262	253	40,5	21,4
	PANAMAX ⁷⁾	70.000	86.000	236	227	32,3	19,3
	HANDYMAX	50.000	62.600	215	206	32,3	17,4
	HANDYSIZE	30.000	38.600	186	176	27,9	14,9
		20.000	26.300	165	156	24,6	13,2
		15.000	20.000	152	143	22,5	12,1
		10.000	13.700	136	127	19,8	10,8
	MINI BULK CARRIERS	7.000	9.740	123	114	17,7	9,7
		5.000	7.090	111	103	16,0	8,7
TIPO DE BUQUE	CLASE	TMP	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)	B (m)	T (m)
MERCANTES DE CARGA GENERAL (General Cargo Ships)	HANDYMAX	40.000	57.700	224	214	31,6	19,6
		30.000	44.000	205	195	29,2	18,0
		20.000	30.100	181	172	26,1	15,9
		15.000	22.900	166	157	24,1	14,6
		10.000	15.700	146	138	21,5	12,9
	SEAWAYMAX ¹⁵⁾	7.000	11.200	131	123	19,5	11,6
		5.000	8.150	118	111	17,8	10,5
		3.000	5.040	101	94	15,4	9,0
		1.000	1.790	72	66	11,4	6,5
		TIPO DE BUQUE	CLASE	TEUs	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)
PORTA-CONTENEDORES ¹⁶⁾ (Containers Ships)	MALACCAMAX ¹⁷⁾	> 18.000 ²⁰⁾	375.000	470	446	60,0	34,0
	ULCV ¹⁸⁾	15.000 ²¹⁾	264.000	398	378	56,4	27,0
	SUEZMAX ⁵⁾ y NEW-PANAMAX ¹⁹⁾	12.000	204.000	382	363	53,0	26,5
		10.000	175.000	370	351	45,8	25,5
	SUPER-POST PANAMAX	9.000	172.000	352	335	45,6	25,2
		8.000	160.000	340	323	43,2	24,6
	POST-PANAMAX	6.000	131.000	318	302	42,8	24,2
		5.000	91.000	290	275	40,0	22,8
	PANAMAX ⁷⁾	4.000	85.000	285	270	32,3	22,6
		3.000	80.500	280	266	32,3	22,5
	FEEDER	2.000	65.000	256	243	32,3	20,6
		1.000	33.500	195	184	28,0	15,7
		500	17.400	148	139	23,2	11,9
		300	12.300	129	121	21,1	10,3

Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre (Tomo II)

D_{elmax} (m)	$A_{T.emer}max$ (m ²)	$A_{T.emer}min$ (m ²)	$A_{L.emer}max$ (m ²)	$A_{L.emer}min$ (m ²)	$A_{T.sumer}max$ (m ²)	$A_{T.sumer}min$ (m ²)	$A_{L.sumer}max$ (m ²)	$A_{L.sumer}min$ (m ²)
17,5	1.280	833	5.890	3.240	731	473	4.550	2.943
15,5	1.050	717	4.750	2.720	571	365	3.566	2.280
14,0	892	628	3.930	2.340	412	290	2.890	2.032
12,7	761	555	3.290	2.030	374	232	2.380	1.479
10,9	599	459	2.510	1.630	278	168	1.745	1.056
9,6	495	395	2.030	1.370	216	129	1.362	816
8,9	433	356	1.740	1.220	183	107	1.158	679
7,9	358	306	1.400	1.020	143	83	913	528
7,1	303	268	1.160	880	115	66	737	420
6,4	259	237	970	763	94	53	647	338
D_{elmax} (m)	$A_{T.emer}max$ (m ²)	$A_{T.emer}min$ (m ²)	$A_{L.emer}max$ (m ²)	$A_{L.emer}min$ (m ²)	$A_{T.sumer}max$ (m ²)	$A_{T.sumer}min$ (m ²)	$A_{L.sumer}max$ (m ²)	$A_{L.sumer}min$ (m ²)
14,0	942	788	4.530	3.240	403	262	2.724	1.772
12,8	786	650	3.740	2.710	348	219	2.270	1.462
11,2	615	496	2.860	2.110	267	170	1.752	1.119
10,2	516	410	2.370	1.770	224	142	1.457	922
8,9	402	313	1.810	1.380	175	111	1.118	709
8,0	323	247	1.430	1.106	142	89	895	558
7,1	262	197	1.143	899	116	73	717	445
6,0	192	140	815	656	85	52	513	318
4,2	98	67	394	333	44	27	253	153
D_{elmax} (m)	$A_{T.emer}max$ (m ²)	$A_{T.emer}min$ (m ²)	$A_{L.emer}max$ (m ²)	$A_{L.emer}min$ (m ²)	$A_{T.sumer}max$ (m ²)	$A_{T.sumer}min$ (m ²)	$A_{L.sumer}max$ (m ²)	$A_{L.sumer}min$ (m ²)
20,0	3.408	3.300	21.161	17.759	1.091	749	8.109	5.563
15,5	2.777	2.763	16.704	14.391	796	622	5.328	4.166
15,5	2.409	2.368	13.890	12.222	748	501	5.116	3.426
15,0	2.141	2.065	11.869	10.621	625	444	4.787	3.401
14,8	2.113	2.035	11.664	10.458	614	456	4.508	3.357
14,5	2.019	1.930	10.972	9.905	570	441	4.251	3.297
14,2	1.763	1.649	9.153	8.430	553	386	3.899	2.724
14,0	1.468	1.334	7.165	6.780	509	295	3.500	2.025
13,5	1.401	1.265	6.740	6.421	397	281	3.314	2.343
13,5	1.380	1.190	6.390	6.260	397	270	3.265	2.219
12,6	1.232	1.040	5.460	5.450	370	238	2.784	1.791
10,2	855	679	3.360	3.530	260	162	1.707	1.065
8,3	594	445	2.060	2.290	176	112	1.050	668
7,4	492	358	1.600	1.830	143	91	815	519

Parámetros representativos de los buques en función de su tipología y capacidad de carga ¹⁾ (continuación)

TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)	B (m)	T (m)
TRANSPORTADORES DE COCHES (Pure and Truck Car Carriers - PCC-PTCC)	8.000 Car Units ²⁴⁾	72.000	50.000	230	218	32,3	36,7
	7.000 Car Units	65.000	43.000	227	215	32,3	36,4
	6.000 Car Units	57.000	38.000	200	190	32,3	34,6
	5.000 Car Units	45.000	32.000	196	186	31,2	34,1
	4.000 Car Units	36.000	25.000	175	166	31,0	32,0
	3.000 Car Units	28.000	20.000	165	157	28,0	30,5
	2.000 Car Units	20.000	15.000	150	143	22,7	28,4
	1.000 Car Units	13.000	10.000	130	124	18,8	24,2
	700 Car Units	7.000	5.500	100	95	17,0	23,1
TIPO DE BUQUE	CLASE	TPM	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)	B (m)	T (m)
RO-RO (Roll-On/Roll-Off Ships)	15.000 ml ²⁵⁾	35.000	63.000	294	273	34,2	34,3
	12.500 ml	30.000	55.600	275	255	34,0	32,5
	8.500 ml	20.000	38.200	237	219	30,8	27,2
	6.500 ml	15.000	29.300	213	197	28,7	23,9
	4.000 ml	10.000	20.200	184	170	26,0	20,0
	3.000 ml	7.000	14.500	161	149	23,8	17,1
	2.750 ml	5.000	10.620	143	131	21,9	14,8
	2.500 ml	3.000	6.630	118	109	19,3	11,8
	2.000 ml	2.000	4.560	102	94	17,5	9,9
	1.250 ml	1.000	2.400	79	72	14,8	7,3
TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)	B (m)	T (m)
FERRIES	FERRIES CONVENCIONALES (Ro-Ro, Ro-Pax and Cruise Ferries)	50.000	82.500	309	291	42,6	21,4
		40.000	66.800	281	264	39,9	19,7
		30.000	50.300	253	237	37,2	18,0
		20.000	33.800	219	204	33,6	15,9
		15.000	25.500	197	184	31,3	14,5
		10.000	17.100	170	158	28,3	12,8
		7.000	12.100	150	139	25,9	11,5
		5.000	8.690	133	122	23,8	10,4
		3.000	5.260	110	101	20,9	8,8
		2.000	3.540	95	87	18,9	7,8
	1.000	1.790	74	68	15,9	6,3	
	FERRIES RÁPIDOS MULTICASCO (Multihull Fast Ferries)	9.000	3.100	127	117	30,5	8,3
		6.000	2.100	107	93	26,5	9,5
		5.000	1.700	97	83	24,7	7,8
		4.000	1.400	92	79	24,0	7,3
		2.000	700	85	77	21,2	6,5
		1.000	350	65	62	16,7	6,2
		500	175	46	41	12,3	4,0
250		96	42	37	11,6	4,3	

Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre (Tomo II)

$D_{e max}$ (m)	$A_{T.emer max}$ (m ²)	$A_{T.emer min}$ (m ²)	$A_{L.emer max}$ (m ²)	$A_{L.emer min}$ (m ²)	$A_{T.sumer max}$ (m ²)	$A_{T.sumer min}$ (m ²)	$A_{L.sumer max}$ (m ²)	$A_{L.sumer min}$ (m ²)
11,8	1.381	1.186	7.576	6.260	365	223	2.465	1.502
11,6	1.362	1.151	7.561	6.153	356	194	2.365	1.292
11,6	1.258	1.047	6.353	5.112	356	194	2.090	1.142
10,0	1.191	1.019	6.223	5.200	297	167	1.767	995
9,2	1.099	937	5.300	4.435	270	146	1.445	783
8,8	945	803	4.825	4.030	236	124	1.319	693
7,8	718	627	4.101	3.521	153	102	962	641
6,5	525	468	3.090	2.711	106	79	690	516
5,2	468	426	2.329	2.095	76	57	423	314
$D_{e max}$ (m)	$A_{T.emer max}$ (m ²)	$A_{T.emer min}$ (m ²)	$A_{L.emer max}$ (m ²)	$A_{L.emer min}$ (m ²)	$A_{T.sumer max}$ (m ²)	$A_{T.sumer min}$ (m ²)	$A_{L.sumer max}$ (m ²)	$A_{L.sumer min}$ (m ²)
14,0	1.350	1.179	5.780	5.655	436	224	3.475	1.787
13,5	1240	1.090	5.330	5.210	418	212	3.130	1.587
11,6	1.020	912	4.430	4.320	325	170	2.310	1.203
10,5	891	805	3.880	3.780	274	145	1.881	991
9,0	736	675	3.230	3.130	213	116	1.391	754
7,9	621	578	2.740	2.650	171	95	1.071	591
7,0	530	499	2.350	2.270	140	79	834	471
5,8	416	400	1.860	1.790	102	59	575	334
4,9	344	335	1.550	1.480	78	47	419	253
3,8	248	248	1.130	1.080	52	33	249	158
$D_{e max}$ (m)	$A_{T.emer max}$ (m ²)	$A_{T.emer min}$ (m ²)	$A_{L.emer max}$ (m ²)	$A_{L.emer min}$ (m ²)	$A_{T.sumer max}$ (m ²)	$A_{T.sumer min}$ (m ²)	$A_{L.sumer max}$ (m ²)	$A_{L.sumer min}$ (m ²)
13,7	1.154	1.084	6.500	6.160	531	275	3.625	1.879
12,7	1.020	960	5.520	5.230	461	246	3.048	1.624
11,7	886	836	4.540	4.300	396	206	2.521	1.312
10,3	728	690	3.450	3.270	315	161	1.911	976
9,5	633	602	2.840	2.700	271	135	1.589	791
8,4	521	497	2.150	2.050	217	105	1.207	587
7,6	438	420	1.690	1.610	179	85	961	454
6,9	372	358	1.350	1.290	150	70	766	355
5,9	291	281	951	911	113	51	542	245
5,3	239	232	722	693	91	40	420	182
4,3	171	167	451	434	63	26	266	110
4,3	574	544	2.245	2.041	60	36	458	273
3,7	501	481	1.843	1.700	45	31	313	212
3,4	424	408	1.480	1.370	39	28	257	185
3,2	385	369	1.348	1.243	35	24	230	157
3,1	318	298	1.271	1.124	30	12	217	88
2,1	242	232	987	913	16	8	119	56
1,8	154	148	550	513	10	6	68	39
1,6	136	131	498	461	9	4	54	22

Parámetros representativos de los buques en función de su tipología y capacidad de carga ¹⁾ (continuación)

TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)	B (m)	T (m)
CRUCEROS (Cruise Ships)	6.300 ²⁷⁾	225.000	110.000	362	326	47,0	24,8
	4.500	155.000	77.000	350	315	39,0	23,8
	4.000	145.000	72.000	340	306	38,9	23,5
	3.000	140.000	70.000	325	293	38,6	22,7
	2.500	120.000	65.700	294	265	35,5	22,5
	2.000	95.000	47.500	272	245	35,0	22,0
	1.500	70.000	39.700	263	237	32,2	21,3
	1.000	50.000	29.200	235	200	32,2	20,9
	800	35.000	21.000	192	175	29,8	19,7
	500	30.000	18.000	173	159	27,7	17,6
	250	20.000	12.000	151	139	25,1	15,1
	200	15.000	9.000	133	124	22,9	13,2
	175	10.000	6.000	119	111	21,1	11,6
	150	6.000	3.600	99	94	18,6	9,6
	–	4.000	2.400	86	82	16,7	8,2
–	2.000	1.200	68	65	14,1	6,3	
TIPO DE BUQUE	CLASE	TRB	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)	B (m)	T (m)
PESQUEROS (Fishing Vessels)	PESQUEROS DE ALTURA Y GRAN ALTURA ²⁸⁾	7.500	9.100	142	130	18,7	9,0
		5.000	6.000	118	109	17,7	8,0
		2.500	3.250	96	83	15,2	7,2
		2.000	2.500	90	80	14,0	7,1
		1.500	2.200	80	70	12,0	7,0
		1.000	1.750	75	65	12,0	7,0
		500	1.000	55	42	11,0	6,8
		300	600	40	35	10,0	6,6
		200	400	36	28	8,0	4,5
		150	300	32	26	7,5	3,6
	PESQUEROS DE BAJURA	100	200	27	23	7,3	3,4
		75	165	25	22	6,6	3,0
		50	115	21	17	6,2	2,9
		25	60	15	12,5	5,8	2,8
		15	40	11	9,2	5,0	1,5
EMBARCACIONES DEPORTIVAS Y DE RECREO A MOTOR (Motor Yachts and Boats)	MEGAYATES ²⁹⁾ (según L)	9.500	160	135	27,8	–	
		7.000	140	120	23,5	–	
		4.500	120	102	18,5	–	
		3.500	100	85	16,5	–	
		1.600	70	60	13,5	–	
		1.100	60	51	12,0	–	
		700	50	43	9,0	–	

D_{elmax} (m)	$A_{T.emer max}$ (m ²)	$A_{T.emer min}$ (m ²)	$A_{L.emer max}$ (m ²)	$A_{L.emer min}$ (m ²)	$A_{T.sumer max}$ (m ²)	$A_{T.sumer min}$ (m ²)	$A_{L.sumer max}$ (m ²)	$A_{L.sumer min}$ (m ²)
9,3	2.590	2.543	16.656	16.330	398	351	2.757	2.431
8,8	2.100	2.042	15.730	15.258	312	254	2.520	2.048
8,7	2.000	1.936	14.624	14.124	308	244	2.421	1.920
8,6	1.870	1.815	13.188	12.775	302	243	2.291	1.878
8,4	1.476	1.460	10.275	10.155	271	235	2.024	1.904
8,4	1.290	1.260	9.020	8.780	268	221	1.871	1.547
8,4	1.120	1.090	7.170	7.020	246	194	1.810	1.423
8,4	907	879	5.070	4.990	246	190	1.528	1.179
8,4	766	740	3.850	3.810	228	172	1.337	1.008
8,4	679	654	3.160	3.150	212	162	1.215	930
8,2	573	551	2.400	2.400	188	124	1.037	684
7,2	493	473	1.890	1.880	150	113	812	609
6,3	428	410	1.510	1.500	121	84	636	441
5,1	346	330	1.080	1.060	87	60	436	300
4,4	292	278	822	804	67	46	328	223
3,3	218	207	518	502	43	27	195	132
D_{elmax} (m)	$A_{T.emer max}$ (m ²)	$A_{T.emer min}$ (m ²)	$A_{L.emer max}$ (m ²)	$A_{L.emer min}$ (m ²)	$A_{T.sumer max}$ (m ²)	$A_{T.sumer min}$ (m ²)	$A_{L.sumer max}$ (m ²)	$A_{L.sumer min}$ (m ²)
7,1	247	242	934	897	121	113	839	780
6,9	210	197	744	665	111	97	684	595
6,7	145	130	544	557	93	76	506	415
5,9	135	122	568	496	76	61	429	350
5,3	118	107	503	469	58	51	338	293
5,0	115	106	503	455	55	44	296	237
4,3	95	93	325	315	43	38	165	145
4,1	88	81	287	263	38	29	131	99
3,5	57	52	181	168	26	22	90	74
3,4	46	42	152	136	24	19	81	64
3,2	–	–	–	–	–	–	–	–
2,8	–	–	–	–	–	–	–	–
2,7	–	–	–	–	–	–	–	–
2,6	–	–	–	–	–	–	–	–
2,3	–	–	–	–	–	–	–	–
5,5	–	–	–	–	–	–	–	–
5,0	–	–	–	–	–	–	–	–
4,9	–	–	–	–	–	–	–	–
4,8	–	–	–	–	–	–	–	–
3,8	–	–	–	–	–	–	–	–
3,6	–	–	–	–	–	–	–	–
3,5	–	–	–	–	–	–	–	–

Parámetros representativos de los buques en función de su tipología y capacidad de carga ¹⁾ (continuación)

TIPO DE BUQUE	CLASE	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)	B (m)	T (m)	
EMBARCACIONES DEPORTIVAS Y DE RECREO A MOTOR (Motor Yachts and Boats)	SUPERYATES ³⁰⁾	500	45	39	8,5	–	
		250	40	34	8,0	–	
	YATES A MOTOR ³¹⁾	150	30	25	7,5	–	
		50	20	17	5,5	–	
	OTRAS EMBARCACIONES A MOTOR	30	15	12,5	5,2	–	
		15	10	8,5	4,0	–	
1,2		7	6	2,5	–		
TIPO DE BUQUE	CLASE	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)	B (m)	T (m)	
EMBARCACIONES DEPORTIVAS Y DE RECREO A VELA (Sailing Yachts and Boats)	YATES VELEROS ³²⁾	1.500	90 ³⁴⁾	67,5	13,5	–	
		1.000	70	51,5	11,5	–	
		650	60	42,0	11,2	–	
		550	50	37,5	9,5	–	
		190	40	31,0	9,3	–	
		125	30	28,0	7,2	–	
		40	20	17,5	5,5	–	
	VELEROS ³³⁾	13	15	11,2	4,5	–	
		10	12	11,0	3,8	–	
		5	10	9,5	3,5	–	
	VELA LIGERA	1,5	6	5,7	2,4	–	
		1,0	5	4,3	2,0	–	
			0,8	2,5	2,3	1,5	–

Notas

- 1) Las magnitudes de los parámetros proporcionados por esta tabla consideran el parámetro de referencia de capacidad de carga para cada tipo de buque (TPM, TEU, GT, TRB), y la eslora en el caso de las embarcaciones deportivas y de recreo, como parámetro principal (columna más a la izquierda), pudiendo considerarse los valores de los otros parámetros los asociados a un cuantil del 85% de la función de distribución del parámetro correlacionado, condicionada a cada valor del parámetro principal, considerando como población todos los buques existentes en el mercado de una tipología determinada. Los valores asociados a un cuantil del 15% pueden estimarse con carácter general multiplicando por 0,80 los consignados en la tabla y los asociados a un cuantil del 50% (valores medios) multiplicándolos por 0,9.
- 2) El mayor Supertanker construido es de 550.000 TPM (2011).
- 3) Del inglés Ultra Large Crude Carrier.
- 4) Del inglés Very Large Crude Carrier.
- 5) Máximo tamaño de buques que pueden transitar por el canal de Suez a plena carga, considerando los valores medios de sus parámetros representativos. Es decir, puede haber buques con estos tonelajes que superen 16 m de calado en navegación.
- 6) Máximo tamaño de buques definido por la American Freight Rate Association (AFRA).
- 7) Máximo tamaño de buques que pueden transitar por el Canal de Panamá a plena carga, considerando los valores medios de sus parámetros representativos. Es decir, puede haber buques con estos tonelajes que superen 32,3 m de manga, 294 m de eslora o 12 m de calado.
- 8) Del inglés Liquefied Natural Gas Carrier.
- 9) Las clases Q-MAX y Q-FLEX son gaseros del tipo Membrana.
- 10) Del inglés Very Large Gas Carrier.
- 11) Del inglés Liquefied Petroleum Gas Carrier.
- 12) Los gaseros LPGC son generalmente del tipo Prismático.
- 13) Del inglés Very Large Bulk Carrier.
- 14) Deben su nombre a que son buques que son demasiado grandes para transitar por los canales de Suez y Panamá y deben transitar por los cabos de Buena Esperanza y Hornos.
- 15) Máximo tamaño de buque que pueden transitar por el canal del Río San Lorenzo a plena carga, considerando los valores medios de sus parámetros representativos. Es decir, puede haber buques con estos tonelajes que superen 226 m de eslora, 24 m de manga o 7,9 de calado en navegación.
- 16) Las áreas frontal y lateral de los buques portacontenedores por encima de la línea de flotación, en condición de máxima carga, incluyen las áreas debidas a los contenedores estibados en cubierta. Por dicha razón, la columna de área longitudinal máxima para este tipo de buque se corresponde con la condición de carga máxima en lugar de con la condición de en lastre.
- 17) Se consideran englobados en la clase MALACCAMAX los buques mayores de 16.000 TEUs que puedan transitar por el estrecho de Malaca a plena carga, considerando los valores medios de sus parámetros representativos. Es decir, puede haber buques con estos desplazamientos que

$D_{e max}$ (m)	$A_{T.emer max}$ (m ²)	$A_{T.emer min}$ (m ²)	$A_{L.emer max}$ (m ²)	$A_{L.emer min}$ (m ²)	$A_{T.sumer max}$ (m ²)	$A_{T.sumer min}$ (m ²)	$A_{L.sumer max}$ (m ²)	$A_{L.sumer min}$ (m ²)
3,3	-	-	-	-	-	-	-	-
3,0	-	-	-	-	-	-	-	-
2,9	-	-	-	-	-	-	-	-
2,7	-	-	-	-	-	-	-	-
2,2	-	-	-	-	-	-	-	-
1,6	-	-	-	-	-	-	-	-
1,3	-	-	-	-	-	-	-	-
$D_{e max}$ (m)	$A_{T.emer max}$ (m ²)	$A_{T.emer min}$ (m ²)	$A_{L.emer max}$ (m ²)	$A_{L.emer min}$ (m ²)	$A_{T.sumer max}$ (m ²)	$A_{T.sumer min}$ (m ²)	$A_{L.sumer max}$ (m ²)	$A_{L.sumer min}$ (m ²)
6,5	-	-	-	-	-	-	-	-
6,0	-	-	-	-	-	-	-	-
5,5	-	-	-	-	-	-	-	-
5,0	-	-	-	-	-	-	-	-
4,5	-	-	-	-	-	-	-	-
3,6	-	-	-	-	-	-	-	-
3,0	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	-	-	-	-	-	-	-	-
2,3	-	-	-	-	-	-	-	-
2,1	-	-	-	-	-	-	-	-
1,5	-	-	-	-	-	-	-	-
1,0	-	-	-	-	-	-	-	-
0,5	-	-	-	-	-	-	-	-

en el futuro puedan superar 25 m de calado en navegación. En la actualidad (2011) el único tipo de estos buques en construcción son los denominados Triple-E con una capacidad de 18.000 TEUs. Los datos incluidos en la tabla correspondientes a la clase MALACCAMAX, dado que son buques aún con un desarrollo incipiente, son estimaciones de los valores representativos que pueden alcanzar los parámetros geométricos de dichos buques.

18) Del inglés Ultra Large Container Vessel.

19) A la clase SUEZMAX también se la empieza a denominar clase NEW-PANAMAX (Máximo tamaño de buques que pueden transitar por las nuevas esclusas del Canal de Panamá a plena carga, considerando los valores medios de sus parámetros representativos. Es decir, puede haber buques con esta capacidad que superen 366 metros de eslora, 49 de manga y 15,2 metros de calado.

20) De la clase MALACCAMAX, únicamente está actualmente (2011) en fase constructiva el tipo de buque denominado Triple-E con una capacidad de 18.000 TEUs. Los principales parámetros geométricos de este tipo de buques son: 400 m de eslora, 59 m de manga y 14,5 m de calado.

21) El mayor buque portacontenedores construido es de 15.500 TEU (2011).

22) El área transversal emergida máxima está asociada con el buque en lastre.

23) El área longitudinal emergida máxima está asociada con el buque a plena carga.

24) La unidad que mide la capacidad del buque en unidades de coche (car unit) suele ser la unidad convencional RT43, equivalente a 8,4 m² (4,2 m de largo x 2 de ancho).

25) Las equivalencias entre metros lineales, número de plataformas y unidades equivalentes de coches son las siguientes:

RT43 = 4.2 ml.

Número de plataformas = 14.2 ml.

26) En los ferries rápidos multicasco, puede considerarse que la manga efectiva de flotación de los cascos es aproximadamente el 45/50 % de la indicada, que corresponde a la manga máxima de la superestructura.

27) El mayor buque de cruceros construido tiene una capacidad de 6.300 pasajeros (2011).

28) Incluye buques factoría y congeladores.

29) Embarcaciones de recreo a motor con eslora (L) > 45 m.

30) Embarcaciones de recreo a motor con eslora (L) > 30 m

31) Embarcaciones de recreo a motor con eslora (L) > 15 m

32) Embarcaciones deportivas y de recreo a vela con eslora (L) ≥ 15 m.

33) Embarcaciones deportivas y de recreo a vela con eslora (L) < 15 m.

34) Si bien hay veleros de mayores dimensiones (hasta 200 m de eslora) no pueden considerarse propiamente embarcaciones deportivas o de recreo, siendo normalmente buques militares escuela o buques de crucero.

Las corrientes de retorno y los descensos de los niveles de las aguas generados por los buques en general pueden despreciarse para la verificación de las obras de atraque y amarre debido a que sus magnitudes no son relevantes en el emplazamiento de las mismas por alguna de las siguientes causas:

- ◆ las distancias de seguridad recomendadas entre vías de navegación con velocidad de los buques escasamente o no restringida y un puesto de atraque y amarre da lugar a dimensiones o geometrías en el emplazamiento que a estos efectos pueden considerarse amplias.
- ◆ las limitaciones normalmente establecidas a la velocidad absoluta de navegación de los buques en áreas restringidas (2.0-3.0 m/s) o de acceso (1.0-1,5 m/s) a obras de atraque y fondeaderos (Ver apartado 7.2.3.4. de la ROM 3.1-99). ⁽⁵⁷⁾

Por el contrario, en todos los casos deberá valorarse las características de las ondas generadas por la flota previsible de buque en tránsito por las áreas adyacentes a la obra de atraque en el emplazamiento de la misma y tomarse en consideración en los procesos de verificación cuando sean relevantes, considerando su actuación tanto directamente sobre la obra de atraque como indirectamente sobre el buque amarrado o sobre el buque durante las maniobras de atraque (Ver apartados 4.6.4.4.3. Acciones de atraque y 4.6.4.4.7. Acciones de amarre).

De igual forma, deberán valorarse los efectos de succión y rechazo entre buques en tránsito y buque amarrado o buque durante las maniobras de atraque, debiéndose tomar en consideración, en el caso de que sean significativos, para la determinación de las acciones de atraque y amarre (Ver apartados 4.6.4.4.3. Acciones de atraque y 4.6.4.4.7. Acciones de amarre).

4.6.4.4.2.1. Ondas generadas por los buques en tránsito

Las características del oleaje operativo generado por un buque en tránsito (ondas de acompañamiento del buque) puede definirse en función del número de Froude (F_r).

$$F_r = \frac{V_b}{\sqrt{g \cdot h}}$$

siendo:

- V_b = velocidad relativa del buque respecto del agua.
- h = profundidad en el emplazamiento.
- g = aceleración de la gravedad.

◆ Para $F_r < 0,85$. Hipótesis de aguas profundas

En esta situación puede considerarse que los trenes de ondas producidos por los buques durante la navegación no están afectados por el fondo durante el proceso de generación y posterior propagación.

En este hipótesis pueden incluirse la mayor parte de las ondas generadas por los buques tanto en las áreas exteriores de aproximación a puertos y fondeaderos como en las áreas interiores. Esto es así, dado que, salvo casos de embarcaciones rápidas como ferris rápidos o embarcaciones deportivas y de recreo a motor, los buques no pueden superar con la potencia instalada velocidades que den lugar a números de Froude mayores de 0,85, al depender la resistencia hidrodinámica al movimiento de un buque de este número. Por otro lado, en general los criterios de explotación de las instalaciones portuarias recomiendan limitar la velocidad absoluta de todo tipo de buques tanto en áreas exteriores de acceso a puertos y fondeaderos como en las áreas interiores de los mismos a valores que no superan

(57) Las corrientes de retorno y los descensos de los niveles de las aguas generados por buques no suelen ser despreciables para la verificación de márgenes en áreas restringidas de navegación y compuertas de esclusas, particularmente por causa de los mayores desniveles adicionales de las aguas que pueden producirse.

los 15 nudos (7,5 m/s) en áreas exteriores y los 10 nudos (5 m/s) en áreas interiores (Ver apartado 7.2.3.4. de la ROM 3.1-99).

En estas condiciones, las ondas generadas por un buque en tránsito pueden considerarse compuestas por la interacción entre trenes de ondas transversales o de popa y trenes de ondas divergentes cuyo desarrollo y posterior disipación puede admitirse que se produce en cada instante prácticamente en el interior del área limitada por dos rectas que forman aproximadamente $19,5^\circ$ con el eje de navegación y vértice en la proa del buque generador, pudiéndose transformar dependiendo de las condiciones locales existentes en el emplazamiento y por la presencia de la propia obra. En dichas líneas límite móviles, denominadas líneas de picos, se considera que tiene lugar el cruce de las ondas transversales y divergentes, produciéndose en cada instante las máximas alturas de ola (Ver figura en la tabla 4.6.4.34). En dichas líneas las alturas de ola son decrecientes al aumentar su distancia al eje de navegación.

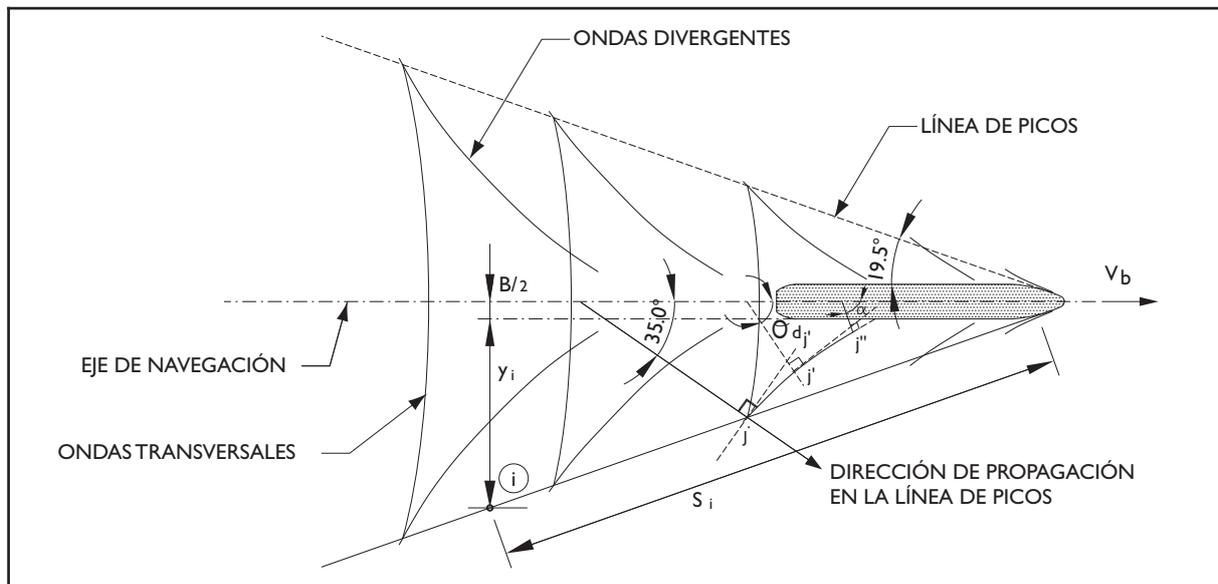
En ausencia del análisis de estas ondas mediante modelos numéricos o físicos de predicción de estelas generadas por buques, la descripción detallada de las mismas, sin considerar modificaciones por fondo o por condiciones de contorno, así como sus características, pueden aproximarse suficientemente a estos efectos mediante la metodología de la tabla 4.6.4.34. (Estela de Kelvin).

Como puede observarse en dicha tabla, las características de las ondas generadas por los buques en tránsito para números de Froude menores de 0,85 son similares (oleaje de periodo corto del orden de 1 a 5 s) a las de un oleaje de viento (Ver apartado 4.6.2.1) y, por tanto, este tipo de ondas puede ser un agente predominante en modos de fallo o parada operativa en los que lo también pudieran serlo los oleajes de viento.

◆ **Para $F_r \geq 0,85$. Hipótesis de profundidades reducidas**

En esta situación puede considerarse que las ondas producidas por los buques durante la navegación están afectadas por la profundidad de las aguas durante los procesos de generación y posterior propagación. Para la predicción de este tipo de ondas puede partirse de las características de las ondas generadas considerando la profundidad constante, analizando posteriormente los procesos asociados a las transformaciones de las mismas en profundidades reducidas y a las condiciones locales del emplazamiento.

Tabla 4.6.4.34. Características de las ondas generadas por un buque en tránsito con $F_r < 0,85$ (Hipótesis de aguas profundas). Estela de Kelvin



Características de las ondas generadas por un buque en tránsito con $F_r < 0,85$ (Hipótesis de aguas profundas). Estela de Kelvin (continuación)

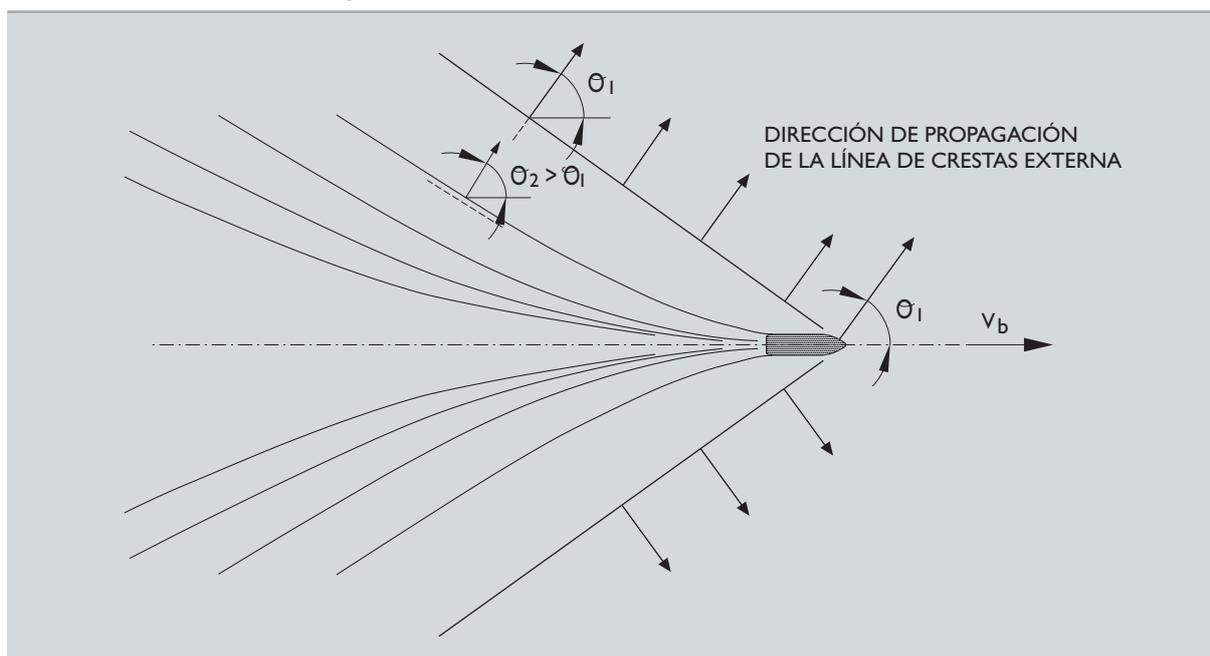
CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS TRANSVERSALES O DE POPA
<p>Onda lineal progresiva regular (L_p, T_p) con forma de arco, con celeridad igual a la velocidad relativa de buque respecto al agua ($c_t = V_b$) y dirección de propagación con respecto al eje de navegación del buque entre 0° (en el eje de navegación) y aproximadamente 35° (en la línea de picos) medida a partir del sentido de la navegación ⁽¹⁾. Las características de esta onda pueden aproximarse por medio de la siguiente formulación:</p> $c_t^2 = V_b^2 = g \frac{L_t}{2\pi} \operatorname{tg} h \left(\frac{2\pi}{L_t} h \right) \quad T_t = \frac{L_t}{V_b}$ <p>Como la longitud de las crestas aumenta desde su generación con el buque con la distancia de propagación al tener forma de arco, la altura de la ola decrece de manera inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la distancia propagada.</p>
CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS DIVERGENTES
<p>Ondas con forma de curvas cóncavas cuyas longitudes de onda (L_d) y periodos (T_d) en cada punto de la onda divergente medidos en la dirección de propagación (θ_d) pueden aproximarse por la siguiente formulación:</p> $c_d = V_b \cos \theta_d \quad L_d = L_t \cos^2 \theta_d \quad T_d = T_t \cos \theta_d$ <p>El valor de θ_d es función de la posición relativa del punto considerado respecto al eje de navegación del buque generador, oscilando entre 90° (en el eje de navegación) y aproximadamente 35° (en la línea de picos) ⁽¹⁾ respecto a dicho eje y medida a partir del sentido de la navegación.</p>
CARACTERÍSTICAS DE LAS OLAS MÁXIMAS
<p>Las ondas de altura máxima se producen en la intersección entre las ondas transversales y divergentes, en la línea de picos. Las características de dichas ondas pueden aproximarse por la siguiente formulación:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Dirección de propagación (θ_d): aproximadamente 35° respecto al eje y sentido de la navegación. – Longitud de onda en la dirección de propagación: $L_b = L_t \cdot \cos^2 35^\circ = 0,671 \cdot L_t$ ⁽²⁾ – Periodo de la onda en la dirección de propagación: $T_b = T_t \cdot \cos 35^\circ = 0,82 \cdot T_t$ ⁽²⁾ – Altura de ola máxima en el punto i de la línea de picos, $H_{b,\max} i$ $H_{b,\max} i = \alpha \frac{V_b^2}{g} \left[\frac{s_i}{h} \right]^{\frac{1}{2}}$ <p>Siendo:</p> <p>s_i : la distancia entre el punto considerado y el buque, medida en la línea de picos. Puede aproximarse por: $s_i = y_i \cdot \operatorname{sen} 19,5^\circ$, siendo y_i la ordenada del punto considerado medida a partir del eje de navegación menos la mitad de la manga del buque.</p> <p>α : coeficiente adimensional empírico, característico del tipo de buque. Pueden adoptarse los siguientes valores:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 1,0 para los buques convencionales a plena carga, embarcaciones deportivas y de recreo y remolcadores. – 0,35 para los buques convencionales en lastre.
<p>Notas</p> <p>1) El valor de θ_d en la línea de picos depende del valor del número de Froude. Un valor más exacto del mismo puede aproximarse más exactamente por medio de la siguiente formulación (Weggel & Sorensen, 1986):</p> $\theta_d = 35,27(1 - e^{12(F_r-1)})$ <p>1) En aguas profundas ($h/L_b > 1/2$) la formulación señalada se simplifica de la siguiente forma:</p> <ul style="list-style-type: none"> – $L_b = 4,2 (V_b)^2/g$ – $T_b = 5,1 V_b/g$ <p>En esas condiciones, para buques convencionales y en las instalaciones portuarias en las que está limitada la velocidad de los buques por criterios de explotación, estos valores generalmente se encuentran en el intervalo entre 1 y 5 s para el periodo y 1 y 45 m para las longitudes de onda.</p>

En estas condiciones puede considerarse que, al contrario que en los casos con $F_r < 0,85$, no se forman ondas transversales. En aguas de profundidad constante, puede considerarse que las ondas generadas por el buque están formadas únicamente por ondas divergentes. La línea de crestas más externa es recta, de longitud variable dependiente del tiempo en el que el buque ha estado navegando con un determinado número de Froude, y con un ángulo de propagación (θ_1) respecto al eje de navegación definido por la siguiente relación: $\cos \theta_1 = 1/F_r$. El resto de ondas producidas son divergentes respecto a la primera, con

las líneas de crestas y senos curvadas hacia el eje de navegación con ángulos progresivamente crecientes de propagación, hasta ser prácticamente paralelas (ángulos de propagación próximos a ser perpendiculares) al eje de navegación (Ver figura 4.6.4.5).

Lo más relevante de estas ondas generadas por buques en tránsito para las obras de atraque y amarre es que la longitud de onda y el periodo de las ondas divergentes en la dirección de propagación es mayor que las generadas en el caso de $F_r < 0,85$, aumentando con la distancia al eje de navegación debido a la diferencia de ángulo de propagación entre ondas consecutivas. Este efecto hace que ondas con periodo muy largo, aunque en algunos casos con muy pequeña amplitud, puedan alcanzar obras de atraque y amarre emplazadas incluso muy alejadas de las vías de navegación por las que transitan buques o embarcaciones deportivas o de recreo rápidos⁽⁵⁸⁾. En estos casos, deberá analizarse por medio de modelos físicos o numéricos de generación y propagación particularmente que las ondas largas producidas por estos buques, al igual que las ondas largas debidas a otros efectos del medio físico (Ver apartado 4.6.2.1), puedan alcanzar el emplazamiento de las obras de atraque y amarre y producir fenómenos de resonancia en las dársenas o amplificaciones dinámicas en los sistemas buque/amarras/defensas que afecten a la permanencia u operaciones de los buques o embarcaciones en el atraque. Por dicha razón, cuando estos efectos puedan producirse, en general es recomendable evitarlos, bien exigiendo por criterios de explotación limitaciones de velocidad para que los buques naveguen con números de Froude inferiores a 0,85 en las áreas susceptibles de generar estos efectos, bien disponiendo los atraques y amarres en áreas con configuraciones adecuadas o protegidas respecto a este tipo de ondas.

Figura 4.6.4.5. Características de las ondas generadas por un buque en tránsito en aguas de profundidad constante con $F_r \geq 0,85$ (Hipótesis de profundidades reducidas)



Dadas las características de las ondas generadas por un buque en tránsito, puede considerarse que los parámetros que definen a este agente son los mismos que los que definen al oleaje o, en su caso, a las ondas largas de origen climático (Ver tabla 4.6.2.1), considerando la altura de ola (H), el periodo (T) y la dirección de propagación (θ) de la onda de altura máxima generada por el buque que afecta a la obra de atraque y amarre, defini-

(58) Se han registrado oleajes generados por buques rápidos con periodos superiores a 40 s a distancias superiores a 2,5 km del eje de navegación.

da en función de los diferentes modelos de generación y propagación asociados con el número de Froude y de las condiciones locales en el emplazamiento y en presencia de la obra.

El agente onda de acompañamiento del buque navegando tiene un carácter variable y se considerará como agente independiente tanto del oleaje como de los otros agentes climáticos, y de actuación simultánea con los mismos de forma transitoria en los ciclos de operatividad (condiciones de trabajo operativas) de la instalación (operaciones de atraque, realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros con buque atracado y permanencia del buque en el atraque). A todos los efectos, y en particular el de simultaneidad de los agentes, estas ondas pueden tratarse como un agente climático más, independiente del resto de agentes climáticos en los estados climáticos de proyecto de acuerdo con lo definido en el apartado 4.6.2.1. Agentes climáticos (Ver tabla 4.6.2.2).

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, el agente ondas generadas por buques en tránsito se definirá:

a) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas

Para la verificación de la obra de atraque en condiciones normales de operación de la instalación mediante formulaciones deterministas o semiprobabilista, cuando las ondas generadas por los buques en tránsito sean relevantes para el modo de fallo analizado se definirán a través de valores representativos de las variables de estado que definen la onda de mayor altura máxima que actúa en el emplazamiento de la obra de atraque o amarre y en presencia de dicha obra o, en su caso, del buque amarrado. Dichos valores representativos tendrán la consideración de valores característicos o de combinación, en función de que las ondas de acompañamiento sean o no el agente variable predominante (Ver tabla 4.6.4.35).

A falta de registros en el emplazamiento en número y calidad contrastada, los valores característicos o de combinación de las variables de estado de la onda de acompañamiento en el emplazamiento de la obra de atraque serán los más desfavorables obtenidos a partir de las velocidades máximas y características de la flota previsible de buques en tránsito en las áreas adyacentes a la obra de atraque, definidas como vías de navegación para buques en tránsito, durante el periodo de tiempo considerado, así como de las condiciones físicas locales, por medio de modelos numéricos o físicos de validez reconocida para la reproducción de este fenómeno o por medio de los modelos de generación y propagación simplificados definidos en este apartado.

En ausencia de criterios de explotación de la instalación portuaria que limiten la velocidad máxima de los buques en tránsito, las velocidades y características de la flota previsible de buques en tránsito será definida por el Promotor de la instalación de igual forma que la prevista en esta Recomendación para la composición y características de la flota esperable de buques en la obra de atraque (Ver apartado 4.6.4.4.1), utilizando en este caso como parámetros representativos la velocidad máxima, la tipología y la manga de los buques, siempre que se consideren velocidades máximas diferentes según tipos y dimensiones de los buques. En el caso de que los buques que componen la flota prevista en tránsito no estén nominalmente identificados se adoptará la velocidad de los buques en tránsito como parámetro representativo principal.

Cuando la velocidad máxima esté limitada por las condiciones de explotación de la instalación y todos los buques de la flota esperable puedan alcanzarla, para la definición de la composición de la flota se considerará la manga como parámetro representativo principal. En esos casos las ondas generadas por buques en tránsito más desfavorables se considerarán asociadas con el buque en tránsito de mayor manga (Buque de manga máxima).

Los valores máximos usuales de la velocidad de los buques en canales de acceso y áreas portuarias se detallan en el apartado 7.2.3.4.2 de la ROM 3.1-99. En los casos en los que se considere que la velocidad máxima de los buques en tránsito esta limitada pero no está definida explícitamente por el Promotor se adoptarán velocidades de 7,5 m/s (15 nudos) en áreas exteriores y de 5 m/s (10 nudos) en áreas

interiores para la obtención de los valores característicos y de combinación de las variables de estado de las ondas generadas por buques en tránsito.

En condiciones extremas y excepcionales no se considerará la actuación de ondas generadas por buques en tránsito.

Los valores representativos del agente onda de acompañamiento para cada una de las condiciones de trabajo se resumen en la tabla 4.6.4.35.

Tabla 4.6.4.35. Valores representativos de las variables de estado del agente de ondas generadas por buque en tránsito

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo normales Operativas (CT1)	Onda más desfavorable en el emplazamiento generada por la flota esperable de buques en tránsito 1)		—	—
Condiciones de Trabajo Extremas (CT2)	—	—	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental y extraordinaria (CT3,1 y CT3,2)	—	—	—	—
Condiciones de trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,3)	—	—	—	—
Notas				
1) Cuando en una instalación portuaria esté limitada la velocidad máxima de los buques en tránsito por criterios de explotación, puede considerarse que las ondas de acompañamiento más desfavorables están asociadas con el buque en tránsito de mayor manga (Buque de manga maxima) navegando a dicha velocidad.				

Salvo casos excepcionales (por ejemplo, muy pequeña frecuencia de buques en tránsito que produzcan altos niveles de ondas de acompañamiento), por razones de eficiencia de la explotación portuaria no se considerará la posibilidad de que la operatividad de la instalación, para cualquiera de las condiciones operativas, quede limitada por las ondas generadas por los buques en tránsito. Es decir, en el caso de que las ondas de acompañamiento generadas limitaran la operatividad de la instalación es recomendable aumentar la limitación de la velocidad de los buques en tránsito o, en caso de que con la limitación de la velocidad no se alcanzara dicho objetivo, la realización de obras de abrigo y protección del atraque.

b) Para formulaciones probabilistas

Para la verificación de la obra de atraque, así como para la obtención de las cargas de atraque y amarre en condiciones de trabajo normales operativas, mediante formulaciones probabilistas, las funciones de densidad y de distribución de las variables de estado que definen el agente “ondas generadas por los buques en tránsito” pueden definirse como funciones derivadas de la/s función/nes de densidad de los parámetros representativos adoptados para definir la flota en tránsito esperable en las proximidades del puesto de atraque (Ver epígrafe a. de este apartado).

Dichas funciones derivadas se obtienen por medio del ajuste de funciones a las alturas de onda de altura máxima en el emplazamiento obtenidas como resultado de aplicar a cada conjunto de valores, generados de forma aleatoria (p.e. mediante el Método de Monte Carlo) a partir de las funciones que caracterizan la flota de buques en tránsito esperable en las proximidades del puesto de atraque, los modelos de generación y propagación de validez reconocida que permiten la reproducción de este fenómeno.

4.6.4.4.2.1.1. Acciones debidas a las ondas generadas por los buques en tránsito

Las acciones debidas a las ondas de acompañamiento sobre las obras de atraque, tanto actuando indirectamente a través del buque durante el atraque o amarrado como directamente ejerciendo fuerzas sobre la propia estructura o los rellenos, son equivalentes a las producidas por el oleaje o, en su caso, por las ondas largas de origen climático, por lo que para su formulación son de aplicación los apartados 4.6.2.1.1. d, 4.6.4.4.3 y 4.6.4.4.7 de esta Recomendación. De igual forma que en el caso del oleaje de origen climático, las acciones y demás efectos debidos a las ondas generadas por buques en tránsito no dependen únicamente de las características propias del oleaje incidente (altura, periodo y dirección) sino también de la tipología y dimensiones de la estructura y del régimen hidráulico en el emplazamiento resultante de la interacción de dicho oleaje con la estructura. A estos efectos, salvo en profundidades muy reducidas, en general también se considerará suficientemente válida para las ondas de acompañamiento la aplicación de la teoría lineal de ondas.

Las acciones debidas a las ondas generadas por buques en tránsito tendrán igual consideración que dicho agente. Por tanto, tendrán la consideración de no permanentes o variables.

4.6.4.4.3. ACCIONES DE ATRAQUE ($q_{v,42}$)

Las acciones de atraque son las cargas generadas entre un buque y la estructura de atraque durante las operaciones de atraque en condiciones operativas normales, como resultado de la interacción buque-estructura de atraque desde el momento en que ambos entran en contacto y hasta que dicho sistema alcanza el reposo.

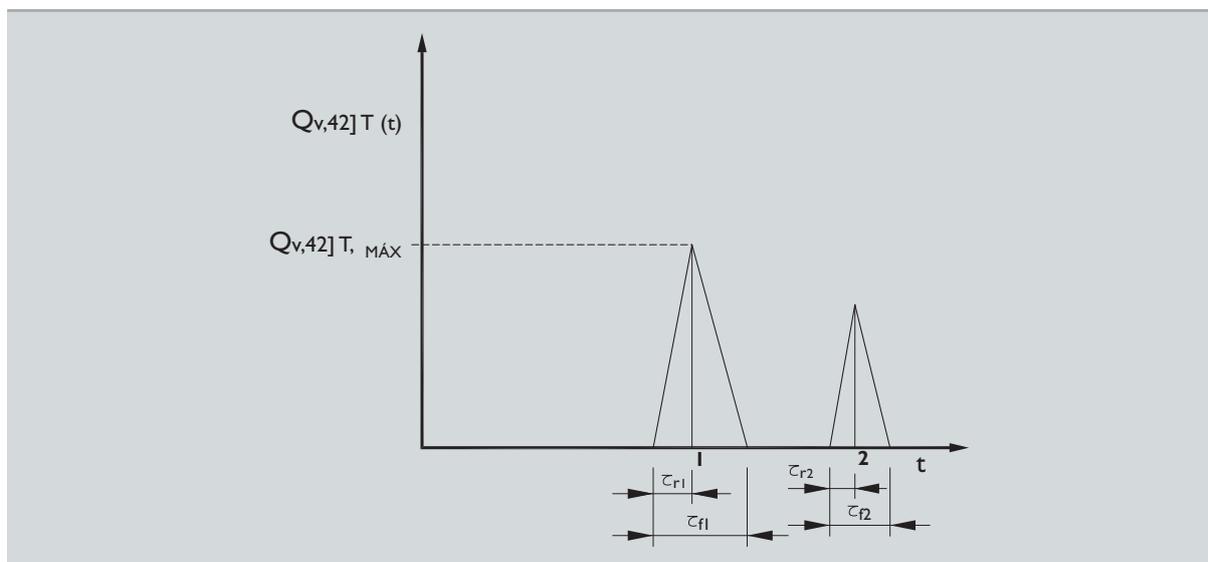
Estas acciones dependen fundamentalmente de la energía cinética desarrollada por el buque durante la maniobra de atraque y de la capacidad de absorción de esta energía por parte del sistema de atraque, el buque y el agua. A estos efectos, se denomina sistema de atraque al conjunto formado por la estructura de atraque y por el sistema de defensas cuando este último exista.

Los factores que inciden en las magnitudes, direcciones y punto de aplicación de dichas acciones son:

- ◆ Las características del buque, definido por sus parámetros geométricos y de capacidad o situación de carga, así como por sus parámetros estructurales, en particular la forma y capacidad resistente del casco.
- ◆ Las características del sistema de atraque, tanto en lo respecta a su capacidad de absorción de energía como a su interferencia con el buque durante la maniobra de atraque.
- ◆ Las condiciones y tipo de maniobra de atraque, tanto en lo que respecta al tipo de maniobras de aproximación y de atraque (atraque lateral mediante traslación transversal preponderante, atraque lateral mediante traslación longitudinal preponderante o atraque por proa o popa) como a los medios empleados en las mismas (utilización o no de remolcadores, disponibilidad de hélices transversales en los buques, ...).
- ◆ Los efectos de los agentes del medio físico, particularmente los niveles de las aguas, el viento, las corrientes y el oleaje, así como de otros agentes operativos (p.e. ondas generadas por los buques en tránsito) por su incidencia tanto en las maniobras de atraque (acciones externas sobre el buque que condicionan su comportamiento durante la maniobra, así como la energía cinética desarrollada) como en la respuesta del sistema de atraque (situación del punto de contacto, ...).
- ◆ La dependencia del factor humano (p.e. familiaridad del capitán del buque con el atraque).

Las acciones de atraque pueden considerarse como acciones variables de carácter impulsivo, estando la serie temporal de su componente dominante constituida por una sucesión de impactos de corta duración hasta la finalización de la maniobra de atraque y alcanzarse el reposo. Cada impacto puede describirse por los parámetros carga máxima ($Q_{v,42|T, max}$), tiempo de crecimiento (τ_r) y duración (τ_f) del impacto (Ver figura 4.6.4.6). El orden de magnitud de los tiempos de crecimiento es de milisegundos.

La respuesta del sistema de atraque frente a la actuación de esta carga es dinámica, alcanzando un valor máximo en el momento del impacto inicial, reduciéndose con posterioridad cíclicamente, debido a los sucesivos ciclos de compresión-descompresión que se producen en el sistema de atraque, hasta la posición de reposo.

Figura 4.6.4.6. Descripción temporal de la componente dominante de las acciones de atraque

Los efectos dinámicos producidos debidos a las acciones de atraque de carácter impulsivo podrán considerarse simplificadaamente admitiendo que la respuesta del sistema de atraque ante su actuación es susceptible de ser tratada en términos de análisis estático por medio de la equiparación de dichas cargas a un sistema estático de cargas equivalentes. Salvo en el caso de pequeñas embarcaciones, debido a las condiciones usuales en las que se desarrollan las operaciones de aproximación de los buques al puesto de atraque y la propia maniobra de atraque⁽⁵⁹⁾, las cargas estáticas equivalentes se obtendrán considerando un único punto de contacto, mediante la idealización del sistema de atraque a un sistema de un grado de libertad (aproximación a un oscilador simple) y el planteamiento de una ecuación de conservación energética entre la energía cedida en el impacto inicial (la parte de la energía cinética desarrollada por el buque que alcanza el sistema de atraque en el momento del impacto más intenso) y la absorbida por el sistema de atraque hasta el momento de máxima deformación (deformación dinámica de pico). Dicha simplificación se considera suficiente para obras de atraque en las que el impacto coincida prácticamente con su centro de gravedad o para obras de atraque lineales en las que el punto de impacto esté suficientemente alejado de los extremos, siempre que el periodo propio de oscilación del sistema de atraque sea manifiestamente mayor que la duración de la carga de impacto. Esta última situación se considera en general como suficientemente aceptable para la mayor parte de las obras de atraque siempre que, o bien sean flexibles, o bien dispongan de defensas flexibles en las que la mayor parte de la energía pueda ser absorbida a través de la deformación de la defensa.

Para estudios más precisos, así como para aquellos casos en los que las premisas anteriores no se cumplan, deberán adoptarse métodos específicos de análisis dinámico (estudios en modelo, idealización a amortiguadores múltiples, etc...), realizando un análisis temporal paso a paso, considerando de forma completa la ley fuerza-tiempo de la acción de atraque.

A igualdad de energía cedida, es evidente que cuanto más rígido sea el sistema de atraque, mayores serán las cargas estáticas equivalentes.

(59) Las maniobras usuales de aproximación y atraque de los buques asociadas a los procedimientos incluidos en esta Recomendación para la definición de las acciones de atraque, salvo los métodos numéricos y experimentales, consideran que los buques alcanzan la situación de parada en las proximidades del puesto de atraque, virando posteriormente si es necesario hasta situarse prácticamente paralelos a la línea de atraque (Ver ROM 3.1-99). En esta posición, con ayuda de los sistemas de amarre y otros medios propios (p.e. hélices transversales) o externos (p.e. remolcadores, ...), mediante una traslación transversal o una traslación longitudinal preponderante hacen un primer contacto con la línea de atraque en un único punto con un pequeño ángulo de inclinación, para rotar posteriormente alrededor de ese punto hasta su completa alineación con el atraque (atraque lateral) y, en su caso, posterior traslación longitudinal cuando el atraque sea por proa o popa. Este último caso es representativo fundamentalmente en el caso de buques ro-ro y ferris con rampas en proa o popa.

La descripción completa de las cargas estáticas equivalentes que caracterizan a las acciones de atraque puede realizarse a través de una acción vectorial con las siguientes componentes:

- ◆ Fuerza de impacto, perpendicular al plano que define el frente de atraque ($Q_{v,42}T$). Esta fuerza es la componente dominante de las acciones de atraque.
- ◆ Fuerza de rozamiento debida al ángulo de inclinación y a los movimientos del buque en el punto de contacto, situada en la superficie de contacto entre el casco del buque y el sistema de atraque ($Q_{v,42}L$).

La presentación de las acciones de atraque define los estados representativos de uno de los ciclos de operatividad de la instalación de atraque, el correspondiente a las operaciones de atraque en condiciones normales operativas, considerándose que dichas acciones son el agente de uso y explotación predominante en dicha condición de trabajo. No se tomará en consideración esta acción en ningún otro estado representativo de otros ciclos de operatividad por razones de incompatibilidad operativa. Tampoco se tomará en consideración en los ciclos de solicitud asociados a la actuación de agentes climáticos extremos (condiciones de trabajo extremas) o extraordinarios (condiciones excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario), salvo que no se limite las operaciones de atraque para alguno de dichos agentes. Asimismo tampoco se tomará en consideración en los ciclos de solicitud asociados con otros agentes extraordinarios o insólitos (condiciones de trabajo excepcionales o sísmicas) debido a la corta duración de la actuación de la acción. Por dicha razón, en los estados representativos correspondientes a las operaciones de atraque en condiciones normales operativas puede suponerse simplificada que los agentes independientes de actuación simultánea tienen el carácter de permanentes en dichos estados.

En dichos estados, se considerarán de actuación simultánea con las cargas de atraque todos los agentes de uso y explotación, con los valores representativos o, en su caso, las funciones de distribución compatibles con la situación operativa y con los de los agentes climáticos de actuación simultánea que definen el estado meteorológico correspondiente a la condición de trabajo considerada en la que actúa la carga de atraque. No obstante, debido a su incompatibilidad operativa, las otras cargas de operaciones de los buques no se considerarán de actuación simultánea en dichos estados, excepto las debidas a los efectos hidrodinámicos inducidos por los buques en tránsito, las debidas a las hélices y otros equipos de propulsión de los buques y las cargas de amarre en aquellos casos en los que la estructura de atraque pueda recibir las cargas de amarre de atraques contiguos y/o los criterios de explotación de la instalación consideren específicamente la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante las maniobras de atraque.

Las acciones de atraque están asociadas con las condiciones más desfavorables en las que se desarrollan las maniobras de atraque consideradas como normales. Debe diferenciarse completamente de las acciones generadas por el impacto de buques debidas a situaciones accidentales durante la maniobra de atraque: fallos mecánicos del buque o de los remolcadores, rotura de amarras, cambios bruscos de las condiciones medioambientales, errores humanos, ... que pueden dar lugar a impactos anormales. Esta acción se considera en esta Recomendación como el agente "Impacto accidental de buque durante las maniobras de atraque" (Ver apartado 4.6.4.4.4).

En general, no será necesaria la consideración de las acciones de atraque para la verificación de modos de fallo "globales" de pérdida de equilibrio estático o inestabilidad externa en obras de atraque fijas cerradas con rellenos en su trasdós, dado que su actuación es favorable al estar este tipo de estructuras desequilibradas en el sentido contrario al de la acción de atraque. Por el contrario, en general esta acción será relevante para la verificación de obras fijas cerradas sin rellenos en el trasdós, en obras fijas abiertas y en obras flotantes, así como para la verificación de los modos de fallo locales de los elementos estructurales que formen parte del sistemas de atraque (defensas, vigas y muros de coronación, superestructuras, ...).

Las acciones de atraque se considerarán cargas compuestas al ser dependientes de otros agentes, en particular del buque, de los agentes climáticos y de otros agentes que puedan presentarse simultáneamente en la misma situación operativa (p.e. ondas generadas por buques en tránsito), por lo que pueden considerarse que están correlacionadas con estos agentes, así como con otras acciones que se presenten en la condición de trabajo correspondiente a las operaciones de atraque y que dependan de alguno de estos agentes, en las condiciones de simultaneidad y compatibilidad establecidas para los mismos en dicha condición de trabajo. Para su definición se considerará que el factor predominante es el tamaño, composición y características de la flota de

buques en el atraque (Ver apartado 4.6.4.4.1. Definición de la flota de buques en el atraque. Buques de proyecto). Dada su demostrada relación de dependencia con el tamaño y características del buque, se considerarán los factores relacionados con las condiciones y tipos de maniobra de atraque (entre los que se encuentra la magnitud y ángulo de la velocidad de atraque) como factores dependientes del buque. El resto de factores que intervienen en la determinación de la acción se considerarán independientes del buque.

4.6.4.4.3.1. Métodos para la determinación de las acciones de atraque

De acuerdo con lo establecido en esta Recomendación a los efectos de la consideración simplificada de los efectos dinámicos producidos por las acciones de atraque, estas acciones se obtendrán a partir de la cuantificación de la energía cinética desarrollada por la flota de buques en el atraque en las condiciones climáticas y operativas más desfavorables establecidas como límite para poder realizar las maniobras de atraque en el emplazamiento en condiciones definidas como normales y la proporción de la misma cedida al sistema de atraque, así como de la capacidad de absorción de esa energía por parte de dicho sistema de atraque.

4.6.4.4.3.1.1. Definición de las condiciones límite de operatividad para la realización de las maniobras de atraque

La determinación de las acciones de atraque asociadas a la flota de buques esperables en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos establecidas por el Promotor de la instalación, exige de éste la definición previa de las condiciones climáticas y operativas límite que se consideran para la realización de las maniobras de atraque de cada uno de dichos buques, así como los medios auxiliares necesarios (remolcadores, ...) para la realización de dichas operaciones en función de las condiciones climáticas hasta alcanzar las condiciones límites establecidas.

En cualquier caso, las condiciones climáticas límite de operatividad de cada uno de los buques para la realización de las operaciones de atraque coincidirán con las que producen la suspensión de la accesibilidad marítima para dicho buque, ya que es conveniente que un buque pueda atracar siempre que pueda acceder al puesto de atraque para no aumentar innecesariamente los tiempos de espera y, por tanto, para no reducir el nivel de servicio del atraque por causas ajenas a la ocupación del mismo. No obstante, cuando las condiciones límite para la permanencia del buque en el atraque asociadas a una variable climática considerada como predominante sean por cualquier causa más limitativas que las de accesibilidad marítima, las condiciones límite de operatividad para la realización de las operaciones de atraque asociadas a dicha variable coincidirán con las correspondientes a la permanencia del buque en el atraque, ya que un buque debe poder permanecer en el atraque siempre que pueda atracar en el mismo.

La definición de las condiciones límite de operatividad asociadas con la accesibilidad marítima puede realizarse según lo dispuesto en la ROM 3.1-99. Asimismo la definición de las condiciones límite de operatividad para la permanencia del buque en el atraque se desarrollan en el apartado 4.6.4.4.7.1.3. a_4 de esta Recomendación.

No obstante lo anterior, cuando se trate de un proceso de verificación de una obra de atraque ya construida para nuevas condiciones de explotación de la instalación, deberá considerarse adicionalmente para la determinación de las condiciones límite de operatividad para la realización de las operaciones de atraque la suspensión de las mismas por superación de la máxima carga admisible en alguno de los elementos del sistema de atraque, particularmente de las defensas, por si fueran más restrictivos. En este caso, los umbrales de operatividad de las variables que caracterizan los agentes actuantes se definirán analizando el valor límite de cada variable considerada como predominante a partir del cual se alcanza la máxima carga admisible en alguno de los elementos que conforman el sistema de atraque. A estos efectos, se adoptarán como máxima carga admisible en las defensas, la menor entre la correspondiente al desplazamiento maximal de la defensa que define el dominio admisible y la carga correspondiente al máximo valor admisible de la presión sobre el casco del buque (Ver tabla 4.6.4.40).

Al igual que para el resto de condiciones de trabajo operativas, los estados meteorológicos que definen las condiciones límite de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de atraque se definirán por el valor umbral de operatividad para la realización de las operaciones de atraque de cada una de las

variables que caracterizan a los agentes climáticos u operativos actuantes, consideradas sucesivamente como predominantes, diferenciados, en su caso, por sectores direccionales de actuación, y por los valores representativos de compatibilidad en el emplazamiento, con el valor y dirección adoptados para la variable predominante, del resto de variables climáticas de actuación simultánea (Ver apartado 4.1.1.1.c). Las variables de los agentes climáticos y operativos para los cuales no se hayan definido condiciones límite en una dirección, cuando se consideren como predominantes, no serán causa de limitación de las operaciones de atraque, debiéndose en ese caso considerar acciones de atraque en las condiciones extremas y excepcionales definidas por dicha variable.

4.6.4.4.3.1.2. Cuantificación de las energías cinéticas cedidas al sistema de atraque (E_f)

La cuantificación de dichas energías puede realizarse a través de los siguientes métodos:

- ◆ Método estadístico.
- ◆ Modelos matemáticos.
- ◆ Modelos experimentales.

a) Método estadístico

El método estadístico está basado en la disponibilidad de registros fiables, completos y suficientes de la energía absorbida por el sistema de atraque durante la maniobra de atraque, procedentes de obras de atraque preexistentes, para los diferentes tipos y características de buques que utilizan el atraque en las distintas condiciones climáticas y operativas normales en que se realiza dicha maniobra. Estas mediciones permitirán disponer, para cada tipo de buque con características y condiciones de carga homogéneas que utiliza el atraque, las funciones de densidad y distribución conjunta de las energías cedidas y de las distintas condiciones climáticas y operativas en las que tiene lugar el atraque.

En la actualidad hay disponible tecnología suficiente para conocer la energía absorbida por el sistema de atraque durante las maniobras de atraque a través del registro de las compresiones en las defensas procedentes de medidores de distancia láser o cámaras digitales situadas en la obra de atraque y de su conversión en datos de energía en función de las curvas de comportamiento de las defensas instaladas. La implantación de estos sistemas de registro es cada vez más frecuente como parte de sistemas más completos de gestión de la seguridad del atraque y amarre y de las operaciones de carga y descarga, particularmente en terminales de mercancías peligrosas.

Este método integra automáticamente todos los factores que inciden en la valoración de la energía cinética absorbida por el sistema de atraque: características del buque, características del sistema de atraque, condiciones y tipo de maniobra de atraque, efectos del medio físico y, en particular, los factores humanos de difícil toma en consideración con otros métodos.

Mediante este método, en función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las energías cedidas durante la maniobra de atraque en condiciones de trabajo normales operativas correspondiente a la realización de dicha maniobra se definirán:

■ Para formulaciones deterministas y determinista-probabilista

Para formulaciones deterministas y determinista-probabilista, para cada tipo, características y situación de carga del buque diferenciados que utiliza el atraque, se definirá el valor representativo de la energía absorbida por el sistema de atraque como el valor más desfavorable correspondiente al 95% de probabilidad de no excedencia en las funciones de distribución de la variable "energía cedida" condicionadas a la presentación de cada una de las condiciones climáticas (favorables, moderadas y/o desfavorables, definidas de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36) en las que se considera la realización de maniobras de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas. Aunque no necesariamente, generalmente para cada tipo, característica y situación de

carga del buque, siempre que se empleen los mismos medios auxiliares para la maniobra de atraque, el valor más desfavorable se corresponderá con las condiciones climáticas en las que se clasifican los límites operativos para la realización de la maniobra de atraque.

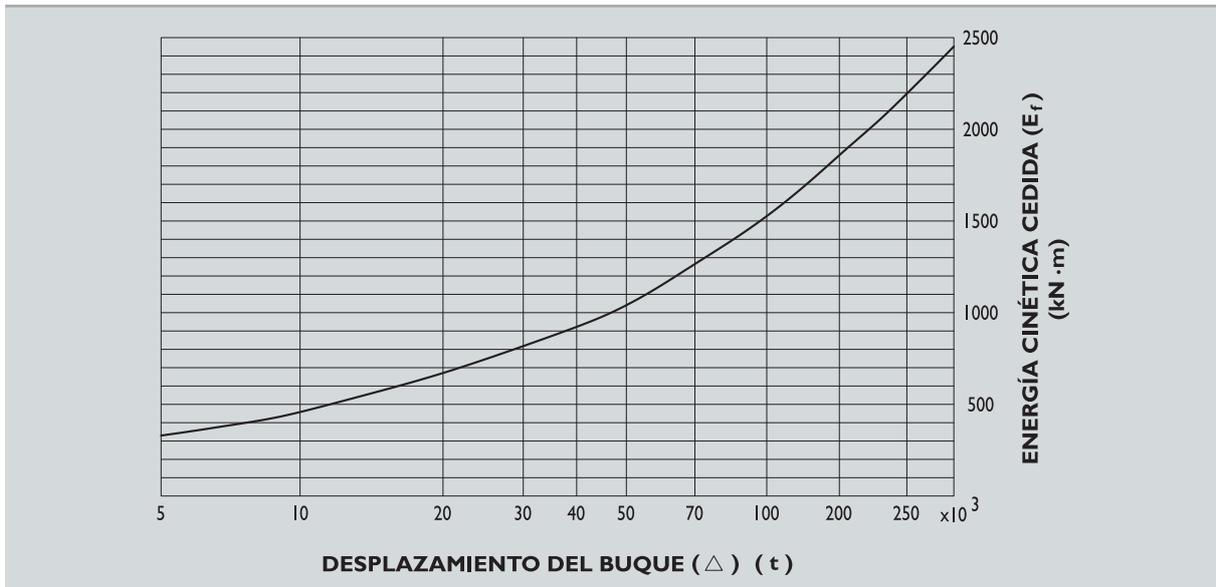
Para cada tipo de buque y situación de carga, dichas funciones pueden obtenerse a partir de la función de densidad conjunta energía cedida/condiciones climáticas y operativas en las que se produce el atraque realizada a partir de los registros en el emplazamiento.

Cuando la flota de buques esperada en el atraque esté formada por buques de tipos, características y situaciones de carga diferentes deberá definirse el valor representativo de la energía cedida correspondiente a cada uno de ellos debido a que, entre otros, por condiciones y medios auxiliares utilizados en la maniobra no necesariamente la máxima energía absorbida por el sistema de atraque debe estar asociada con el buque de máximo desplazamiento.

Se adoptará como valor característico de la energía cedida en condiciones normales operativas correspondientes a la realización de la maniobra de atraque el más desfavorable de los valores representativos.

Mediante este procedimiento, algunos puertos que disponen de registros fiables de energías cedidas al sistema de atraque durante las maniobras de atraque han desarrollado curvas “desplazamiento del buque/energía absorbida por el sistema de atraque” con el objetivo de sistematizar los valores representativos de la energía cedida asociada a cada buque convencional en las condiciones climáticas y operacionales locales en las que se desarrollan las operaciones de atraque. En España no se disponen en la actualidad de mediciones suficientes y fiables publicadas que hayan permitido la elaboración de este tipo de gráficos. En la figura 4.6.4.7 se incluye como ejemplo la obtenida en el puerto de Rotterdam, pudiendo utilizarse únicamente como una referencia sobre los órdenes de magnitud de las energías cinéticas cedidas al sistema de atraque por los buques durante las maniobras de atraque.

Figura 4.6.4.7. Valor representativo de la energía cinética absorbida por el sistema de atraque durante la maniobra de atraque en condiciones normales operativas, en función del desplazamiento del buque, obtenida por métodos estadísticos (Puerto de Rotterdam)



■ *Para formulaciones probabilistas*

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación, para cada tipo, características y situación de carga del buque, la energía cinética absorbida por el sistema de atraque se definirá por

medido de las funciones de distribución de la energía cedida por dichos buques, condicionadas a la presentación de cada una de las condiciones climáticas (favorables, moderadas y/o desfavorables, definidas de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36) en las que se considera la realización de las maniobras de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas.

En aquellos casos en los que la presentación de una variable de un agente climático no sea causa de limitación de las maniobras de atraque (Ver apartado 4.6.4.4.3.1.1.), en general no será posible mediante métodos estadísticos la definición suficientemente precisa de los valores representativos de compatibilidad de las energías cinéticas cedidas al sistema de atraque por un determinado buque a tomar en consideración en condiciones extremas, o excepcionales debidas a la presentación de un agente climático de carácter extraordinario, al no estar normalmente disponibles, o estar disponibles en un número insuficiente de años, registros correspondientes a estados meteorológicos que definen estas condiciones extremas o excepcionales de proyecto (condiciones de temporal). No obstante lo anterior, en el caso de que existan registros disponibles de las energías cedidas al sistema de atraque simultáneamente con registros de los agentes climáticos en condiciones de temporal, para cada tipo de buque y situación de carga, para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas los valores representativos de la energía cedida en estas condiciones podrán obtenerse a partir de la definición de las funciones de distribución de dicho parámetro condicionadas a los valores representativos en condiciones extremas o excepcionales adoptados para la variable climática considerada como predominante para el modo de fallo analizado. El valor de compatibilidad de la energía cedida en estas condiciones de trabajo será el más desfavorable para el modo de fallo analizado entre los valores asociados al cuantil del 85% en dichas funciones de distribución, correspondientes a cada uno de los buques y situación de carga de los mismos pertenecientes a la flota esperable en el atraque.

Para formulaciones probabilistas, para cada tipo, característica y situación de carga de buque, la energía cedida en condiciones extremas y excepcionales definidas por la variable que no es causa de limitación de las maniobras de atraque se definirá a través de sus funciones de distribución, condicionadas a cada uno de los valores extremos de dicha variable.

Dada la estrecha dependencia de estas mediciones con las condiciones locales existentes en el emplazamiento, con las características tipológicas y físicas del sistema de atraque y con los medios auxiliares utilizados durante la maniobra de atraque, la extrapolación de las funciones de densidad y distribución, los valores característicos y, en su caso, de compatibilidad de la energía cedida al sistema de atraque asociados a las mismas, así como en su caso las curvas “desplazamiento/energía cedida al sistema de atraque” no pueden generalizarse y son únicamente aplicables en el emplazamiento en el que se han obtenido los registros o en emplazamientos en los que se den condiciones climáticas y operativas, así como características físicas y tipológicas del sistema de atraque, similares y se utilicen los mismos medios auxiliares para la maniobra de atraque. En cualquier caso, para su utilización en otros emplazamientos deberá valorarse expresamente si pueden considerarse suficientemente fiables y representativas para los mismos.

b) Modelos matemáticos

Los modelos matemáticos son actualmente los más utilizados para la determinación de la energía cedida al sistema de atraque debido a que no es muy común en la actualidad disponer de registros fiables, completos y suficientes de energías cinéticas en un emplazamiento que permitan la aplicación de los modelos estadísticos y, por tanto, su extrapolación a nuevos emplazamientos con configuraciones físicas del sistema de atraque y características climáticas y operativas similares. Los modelos matemáticos pueden clasificarse en:

- Modelos analíticos.
- Modelos numéricos.

Tradicionalmente se han utilizado modelos analíticos sencillos para la evaluación de la energía debida al atraque. En general, puede considerarse que la utilización de estos modelos da resultados suficientemente ajustados a la realidad cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- La influencia de los agentes externos (en especial los agentes del medio físico) en la maniobra de atraque es poco significativa. Esta hipótesis no es admisible en la verificación de obras de atraque situadas en áreas costeras exteriores o no protegidas, así como en estuarios o dársenas en los que se produzcan fuertes corrientes de marea o de regímenes fluviales).
- El movimiento del buque durante la maniobra de aproximación inicial del buque al atraque es preponderantemente una traslación transversal o longitudinal sin rotación. Esta simplificación es admisible en la mayor parte de los casos prácticos, salvo cuando se trata del atraque de pequeñas embarcaciones.
- En estructuras de atraque continuas el punto de impacto está suficientemente alejado de los extremos y en estructuras de atraque discontinuas el punto de impacto coincide aproximadamente con su centro de gravedad.

Por tanto, se recomienda el uso de modelos numéricos más avanzados cuando las condiciones físicas y medioambientales en las que se considere que puede producirse la maniobra de atraque son especialmente adversas, particularmente en áreas no protegidas (p.e. terminales offshore) o en estuarios en las que por condiciones de explotación se admita que puedan presentarse importantes niveles de oleaje y/o de corrientes durante las maniobras de atraque. También se recomienda la utilización de modelos numéricos en la verificación de sistemas de atraque no convencionales o cuando la maniobra de atraque sea especialmente compleja, en las que el factor humano resulta más relevante. Dichos modelos están basados en modelos de simulación de maniobras del buque, los cuales permiten obtener los movimientos del buque en el dominio del tiempo durante las maniobras de atraque en las diferentes condiciones medioambientales y operativas en las que el Promotor considera que puede desarrollarse la operación, integrando en muchos casos el factor humano. Estos modelos permiten también obtener como resultado la magnitud y dirección de la velocidad del buque en el momento del impacto y, por tanto, valorar de forma mucho más precisa la energía cedida al sistema de atraque, e incluso directamente las fuerzas de impacto y rozamiento.

El carácter determinista o probabilista de los modelos matemáticos vendrá condicionado por la definición de los parámetros o factores más relevantes que inciden en la determinación de la energía cinética cedida por los buques bien mediante valores representativos o a través de sus modelos de probabilidad, permitiendo en este último caso tratar la energía cedida en el atraque o directamente las acciones de atraque como una variable aleatoria y ajustar a la misma una función de probabilidad. En aquellos modelos numéricos que incorporen la actuación humana de forma no automática (p.e. simuladores de maniobra en tiempo real), la influencia de este factor también puede considerarse integrada directamente en los resultados del modelo. En el caso que se desee tomar en consideración de forma más específica la incidencia del factor humano para definir el modelo de probabilidad de la energía cinética cedida, deberán obtenerse adicionalmente para cada tipo, características y situación de carga de los buques de la flota esperable en el atraque, las funciones de distribución de la energía cinética condicionadas a cada una de las condiciones climáticas y operativas, mediante la repetición del proceso de simulación de la maniobra de atraque a igualdad del resto de factores.

b₁) Modelos analíticos

- b₁₁)* Determinación de la energía cinética cedida al sistema de atraque por un buque durante las maniobras de atraque

El método analítico más ampliamente aceptado permite valorar la energía cinética cedida al sistema de atraque por un buque en un determinado emplazamiento mediante las siguientes formulaciones, diferenciadas en función del tipo de atraque y de las características de la maniobra de atraque desarrollada.

- b₁₁₁)* *Para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante en obras de atraque fijas continuas*

Este es el tipo de maniobra utilizada por la mayor parte de los buques para el atraque en obras de atraque fijas continuas, salvo buques ferries y ro-ro que pueden atracar median-

te otros tipos de maniobra dependiendo de la ubicación de sus rampas y, en su caso, de las pasarelas para embarque y desembarque de pasajeros. A falta de información más detallada por parte del Promotor, se considerará que todos los buques atracan en las obras de atraque continuas lateralmente mediante traslación transversal preponderante, incluyendo los buques ferry y ro-ro que utilicen rampas laterales o pasarelas de embarque (Ver figura 4.6.4.8).

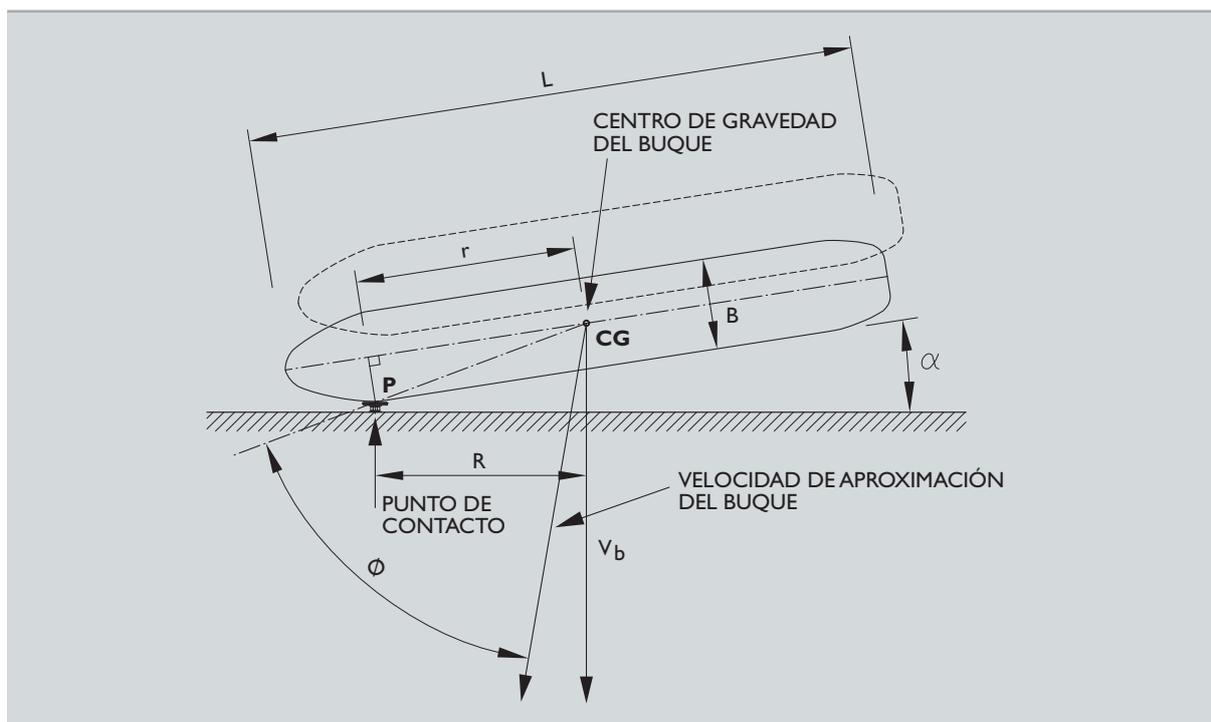
Para atraques laterales o de costado mediante traslación transversal preponderante en obras de atraque fijas continuas, la energía cinética cedida por un buque al sistema de atraque (E_f) puede determinarse mediante la expresión:

$$E_f = E_b \cdot C_b = \left[\frac{1}{2} (C_m M_b) \cdot (V_b)^2 \right] C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s = \left[\frac{1}{2} (C_m \Delta) \cdot (V_b)^2 \right] C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s$$

siendo:

- E_b : Energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque ($kN.m$).
- C_b : Coeficiente ($C_b = C_e C_g C_c C_s$) de atraque (adimensional).
- $C_m M_b$: Masa movilizada por el buque durante el atraque.
- M_b : Masa del buque ($M_b = \Delta/g$).
- Δ : Desplazamiento del buque en la condición de carga considerada (kN).
- g : Aceleración de la gravedad. ($9,8 \text{ m/s}^2$).
- C_m : Coeficiente de masa hidrodinámica (adimensional).
- V_b : Componente normal a la línea de atraque de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto (m/s).
- C_e : Coeficiente de excentricidad (adimensional).
- C_g : Coeficiente geométrico del buque (adimensional).
- C_c : Coeficiente de configuración del atraque (adimensional).
- C_s : Coeficiente de rigidez del sistema de atraque (adimensional).

Figura 4.6.4.8. Atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante a obras de atraque fijas continuas



◆ Coeficiente de masa hidrodinámica (C_m)

El coeficiente de masa hidrodinámica tiene en cuenta el efecto producido por la masa de agua que se moviliza conjuntamente con el buque durante la maniobra de atraque y que da lugar a un aumento efectivo de la masa que interviene en la valoración de la energía de atraque.

Este coeficiente se define como el cociente entre la masa total del sistema (masa del buque + masa de agua movilizada) y la masa del buque [$C_m = (M_b + M_w)/M_b$].

El coeficiente C_m depende fundamentalmente del resguardo bajo la quilla y en menor medida de las dimensiones y configuración del buque bajo la superficie del agua (relación calado/manga principalmente), del sentido de las corrientes, de la velocidad del atraque, de las características de la maniobra de atraque y de la influencia del tipo y rigidez del sistema de atraque en la deceleración del movimiento del buque.

Existen en la literatura técnica una gran variedad de fórmulas para la definición del coeficiente C_m (Vasco Costa, Ueda, Stelson, Saurin, Rupert, etc...) resultado del ajuste de datos procedentes de estudios en modelo o en prototipo concretos. Ninguna de las fórmulas tiene una validez general para todas las condiciones, por lo que debe asegurarse que, en su caso, cada una de ellas se aplica en su rango de validez. Dada la dispersión de valores, a menos que el proyectista justifique la utilización de otros valores se recomiendan con carácter general para buques convencionales los siguientes valores:

- $C_m = 1,5$ para resguardos brutos bajo quilla mayores que la mitad del calado estático del buque (Resguardo bruto $> 0,5D_e$)
- $C_m = 1,8$ para resguardos brutos bajo quilla menores que 0,1 el calado estático del buque (Resguardo bruto $< 0,1D_e$)
- Interpolar linealmente en el caso de valores intermedios del resguardo bruto.

Para catamaranes y buques de doble casco, el coeficiente de masa hidrodinámica puede ser significativamente mayor que el correspondiente a monocascos de similar desplazamiento. En estos casos se recomienda solicitar dicho dato al astillero o realizar ensayos específicos en modelo.

Mediante este modelo analítico, tanto si la energía cinética cedida al sistema de atraque se formula con carácter determinista o semiprobabilista como probabilista, el valor adoptado para este parámetro tendrá la consideración de valor nominal correspondiente a valores frecuentes (probabilidad de no excedencia del 85%), dado que su rango de variación es poco significativo para la determinación de la energía cinética cedida en relación con otros parámetros que intervienen en la formulación.

◆ Componente normal de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto (V_b)

La velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto es el factor más determinante para la valoración de la energía cinética del buque durante el atraque al intervenir al cuadrado en la formulación y, por tanto, es muy sensible a las variaciones de dicho parámetro.

La magnitud de la velocidad de aproximación depende de un gran número de factores en mayor o menor medida:

- Tamaño del buque: en general, la velocidad de aproximación de los buques es inversamente proporcional a su eslora y desplazamiento.
- Tipo de buque en particular en lo que respecta a la magnitud de las áreas emergidas: buques con mayor superficie expuesta al viento (cruceiros, transportadores de coches, ...) suelen presentar mayores velocidades de aproximación al ser menos controlables frente al viento.
- Situación de carga del buque: la velocidad de aproximación es proporcional al resguardo bajo quilla. Por dicha razón un buque a plena carga suele presentar velocidades de aproximación menores que el mismo buque en condiciones de carga parcial.

- Tipo de carga: Buques que transportan mercancías peligrosas atracan en condiciones más controladas, por lo que a igualdad de otras condiciones es esperable que su velocidad de aproximación sea más reducida.
- Características de maniobrabilidad náutica del buque: buques con hélices transversales u otros dispositivos que mejoren sus condiciones de maniobrabilidad suelen presentar, a igualdad de las restantes condiciones, menores velocidades de aproximación al poder controlar mejor el buque durante la maniobra.
- Frecuencia de llegadas: en atraques con alta frecuencia de llegada suelen presentarse mayores velocidades de aproximación.
- Condiciones medioambientales en el emplazamiento: condiciones de oleaje, viento y corrientes más desfavorables dan lugar a mayores velocidades de aproximación dadas las mayores dificultades en controlar el buque.
- Utilización de medios auxiliares en la maniobra de atraque como remolcadores, amarras u otros dispositivos de ayuda al atraque: la utilización de estos medios en número y potencia adecuada reduce la velocidad de aproximación.
- Dificultad de aproximación a la instalación de atraque: atraques situados en emplazamientos que presentan dificultades para la accesibilidad y maniobra de los buques dan lugar a mayores velocidades de aproximación.
- Factor humano: experiencia del capitán del buque y, en su caso, del remolcador, existencia de servicio de practica, ...

La influencia de cada uno de estos factores en la definición de la velocidad de aproximación es de muy difícil cuantificación y sistematización por lo que es recomendable que ésta se determine a partir de la experiencia local existente para atraques de similares características y condiciones de utilización, sobre la base, si es posible, de datos registrados “in situ” o en emplazamientos cuyas condiciones sean comparables. Aunque la existencia de estos datos es todavía escasa, en los últimos años han empezado a instalarse sistemáticamente en atraques especializados, particularmente para productos petrolíferos, químicos y gases licuados, sistemas de control de la aproximación al atraque para mejorar las condiciones de seguridad del atraque, que registran la velocidad de aproximación, por lo que en el futuro la información disponible será más abundante y fiable para ser utilizada en la definición de la velocidad de aproximación en atraques similares. También pueden ser útiles a estos efectos los datos registrados por los radares situados en las estaciones de control o gestión del tráfico portuario.

En función de cómo se formule la energía cinética cedida al sistema de atraque mediante este modelo analítico, las velocidades de aproximación del buque en el momento del impacto se definirán:

- *Para formulaciones de la energía cinética de carácter determinista y determinista-probabilista*

Si se disponen de registros fiables, completos, suficientes y representativos respecto a las velocidades de aproximación de la flota esperable de buques en el atraque o en atraques comparables, o de resultados igualmente completos, fiables y representativos obtenidos por medio de modelos numéricos o experimentales (Ver epígrafes b_2 y c de este apartado), a partir de los cuales obtener un modelo de probabilidad de este parámetro, para cada tipo, característica y situación de carga del buque se adoptará como valor representativo de la velocidad de aproximación en condiciones de trabajo operativas correspondiente al estado límite de realización de las maniobras de atraque el valor más desfavorable correspondiente al 95% de probabilidad de no excedencia en las funciones de distribución de la variable velocidad de aproximación, condicionadas a la presentación de cada una de las condiciones climáticas (favorables, moderadas y/o desfavorables, definidas de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36) en las que se considera la realización de maniobras de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas. Lógicamente, no podrán definirse las funciones de distribución condicionadas a condiciones climáticas que superen los límites de operatividad adoptados para las maniobras de atraque.

Para cada tipo, característica y situación de carga del buque, en el caso de que, de acuerdo con los criterios de explotación, las operaciones de atraque se realicen con los mismos medios auxiliares (p.e.

con o sin remolcadores) independientemente de las condiciones climáticas, el valor más desfavorable de la velocidad de aproximación se corresponderá con la condición climática más desfavorable de entre las que se puede realizar las maniobras de atraque (condiciones límite de operatividad).

En aquellos casos en los que la presentación de una variable de un agente climático no sea causa de limitación de las maniobras de atraque, para cada tipo, característica y situación de carga de buque, el valor representativo de la velocidad de aproximación en las condiciones extremas y excepcionales asociadas con dicha variable considerada como predominante, será el correspondiente al 85% de probabilidad de no excedencia en la función de distribución de la variable velocidad de aproximación, condicionada a las condiciones climáticas definidas por el valor representativo en condiciones extremas o excepcionales adoptado para la variable climática que define estas condiciones de trabajo (Ver apartados 4.1.1.1.1.a , 4.1.1.1.1.b₁ y 4.6.2.1).

En el caso de que este tipo de registros o de resultados provenientes de modelos numéricos o experimentales no esté disponible, no haya experiencia local contrastada o no se disponga de información más precisa, podrá adoptarse como valor representativo de la componente normal de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto, asociado a cada tipo, características y situación de carga del buque, el más desfavorable obtenido por medio de las tablas 4.6.4.36 y 4.6.4.37, tomando en consideración las condiciones climáticas y operativas en las que se considera la realización de las maniobras de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas. Es decir, todos los estados de proyecto incluidos en este ciclo de solicitudes operativas, definidos por cada valor de la variable adoptada como predominante y los valores de compatibilidad del resto de variables climáticas⁽⁶⁰⁾. Igualmente serán de aplicación dichas tablas para la obtención de los valores representativos de la velocidad de aproximación en las condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario que, en su caso, deban ser consideradas, entrando con las condiciones meteorológicas definidas por los valores representativos de las variables que definen cada uno de dichos estados meteorológicos extremos o extraordinarios.

La definición de las condiciones límite de operatividad para la realización de las maniobras de atraque se incluye en el apartado 4.6.4.4.3.1.1.

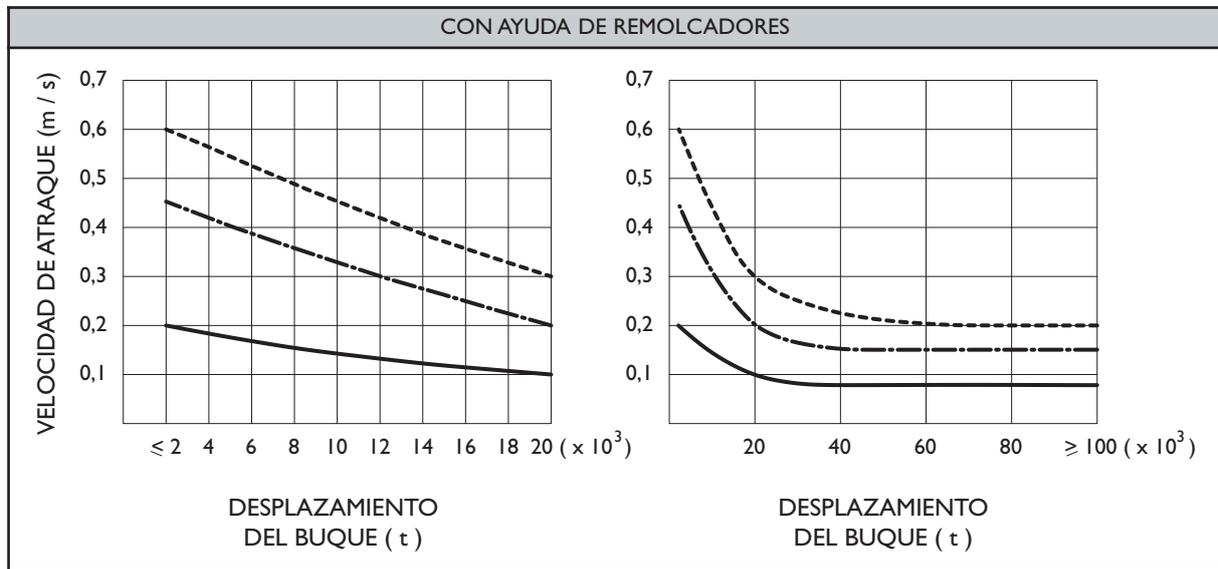
- *Para formulaciones de la energía cinética de carácter probabilista*

Si se disponen de registros o de resultados provenientes de modelos numéricos o experimentales fiables, completos y suficientes respecto a las velocidades de aproximación de la flota esperable de buques en el atraque o en atraques comparables, la definición de las velocidades de aproximación en condiciones normales operativas correspondiente a la realización de maniobras de atraque se efectuará, para cada tipo, característica y situación de carga del buque perteneciente a la flota esperable en el atraque, a través de sus funciones de distribución condicionadas a la presentación de cada una de las condiciones climáticas (favorables, moderadas y/o desfavorables, definidas de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36) en las que se considera la realización de las maniobras de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas.

En aquellos casos en los que la presentación de una variable de un agente climático no sea causa de limitación de las maniobras de atraque, para cada tipo, característica y situación de carga del buque, la velocidad de aproximación en las condiciones extremas o excepcionales asociadas a dicha variable se definirá a través de sus funciones de distribución, condicionadas a cada uno de los valores extremos de dicha variable.

(60) No necesariamente la máxima velocidad de aproximación está asociada con las condiciones límite de operatividad para las maniobras de atraque. Podría darse el caso que los criterios de explotación de la instalación impusieran a utilización de remolcadores para las maniobras de atraque cuando se superaran determinados valores umbral de alguna de las variables que caracterizan los agentes climáticos. En ese caso podrían producirse que la velocidad de aproximación fuera mayor para condiciones climáticas menos restrictivas que las adoptadas como límite de operatividad para la realización de las maniobras de atraque.

Tabla 4.6.4.36. Valores representativos de la componente normal de las velocidades de aproximación del buque en el momento del impacto (V_p), para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante, en el caso de que no haya registros disponibles



Leyenda

	CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE LA MANIOBRA DE ATRAQUE				
	FAVORABLES (——)		MODERADAS (-·-·-·)		DESFAVORABLES (- - - -)
Velocidad Viento ($V_{v,1 min}$)	< 17 m/s	≥ 17 m/s	< 17 m/s	≥ 17 m/s	Cualquier valor
Velocidad corriente ($V_{C,10 min}$)	< 1 m/s	< 1 m/s	≥ 1 m/s	≥ 1 m/s	Cualquier valor
Altura de ola o de la onda generada por buques en tránsito (H_s o $H_{b,max}$)	< 2 m para $\Delta \geq 3000$ t < 1 m para $\Delta < 3000$ t	< 2 m para $\Delta \geq 3000$ t < 1 m para $\Delta < 3000$ t	< 2 m para $\Delta \geq 3000$ t < 1 m para $\Delta < 3000$ t	< 2 m para $\Delta \geq 3000$ t < 1 m para $\Delta < 3000$ t	≥ 2 m para $\Delta \geq 3000$ t ≥ 1 m para $\Delta < 3000$ t

Notas

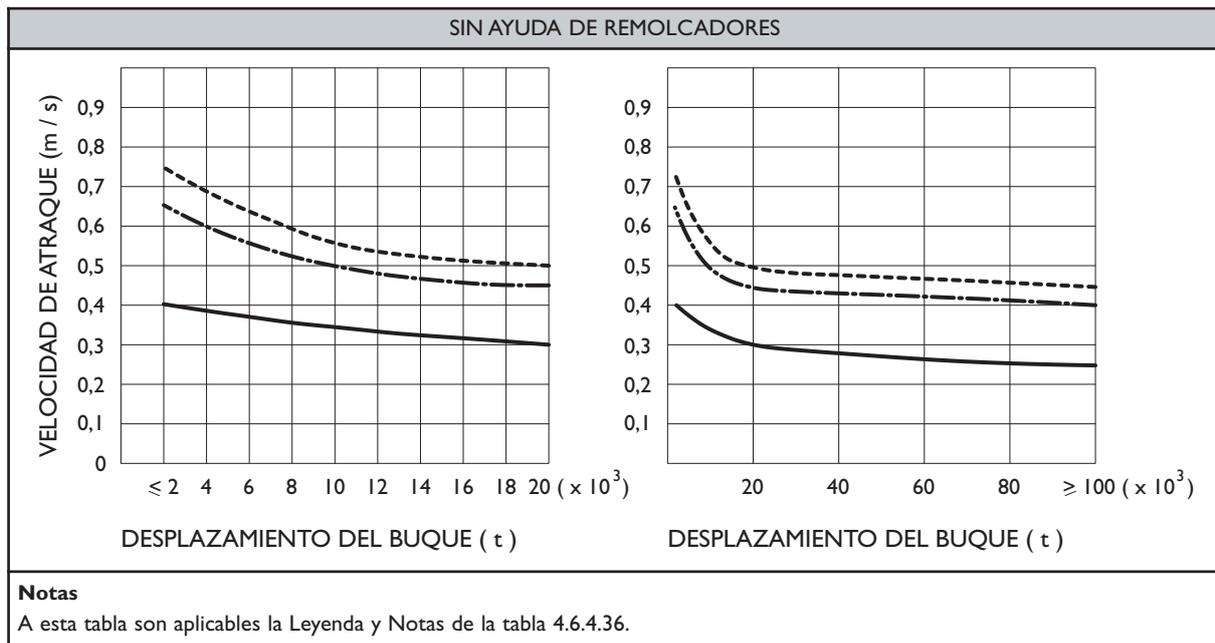
- $V_{v,1 min}$: Velocidad del viento en el emplazamiento correspondiente a 10 m de altura y ráfaga de 1 minuto.
- $V_{C,10 min}$: Velocidad de la corriente en el emplazamiento en superficie, obtenida como el valor medio en un periodo de medición de 10 minutos.
- H_s : Altura de ola significativa en el emplazamiento y en presencia de la obra.
- $H_{b,max}$: Altura de la onda máxima generada por buques en tránsito en el emplazamiento y en presencia de la obra.

Notas

- Los valores consignados en la tabla son válidos para buques convencionales (buques sin dispositivos que mejoren las condiciones de maniobrabilidad y sin excesiva superficie expuesta) con $L \geq 25$ m, en condiciones normales de aproximación al atraque (atraques que no presentan dificultades para la accesibilidad y maniobra del buque o la dirección del viento, la corriente o el oleaje en el emplazamiento es sensiblemente paralela a la línea de atraque). Para condiciones más difíciles de aproximación al atraque podrán adoptarse aumentos del 25% a igualdad de condiciones climáticas. Para buques con dispositivos que mejoren las condiciones de maniobrabilidad suelen presentar velocidades menores. A falta de otros datos, pueden adoptarse los valores correspondientes al escalón inferior de condiciones climáticas más favorables.
- Cuando se prevean elevadas frecuencias de llegada de buques al atraque podrán adoptarse aumentos adicionales del 20% en la velocidad de aproximación.
- A los efectos de esta tabla se considerará que la maniobra de atraque se realiza con ayuda de remolcadores cuando éstos estén presentes en la operación en número y potencia adecuada. La definición de potencia y número adecuado puede obtenerse en el apartado 5.7. de la ROM 3.1-99. En el caso de que en unas determinadas condiciones climáticas se considere que la maniobra de atraques se hace con la ayuda de remolcadores, deberá consignarse expresamente en el proyecto como criterio de explotación de la instalación.
- 1) Los valores de las velocidades de aproximación para condiciones desfavorables deben ser tomados con prudencia, siendo recomendable en estos casos el uso de otros métodos más avanzados para la definición de la energía cinética cedida al sistema de atraque, tal como se recomienda en esta Recomendación.

Para cada tipo, características y situación de carga del buque, dichas funciones pueden obtenerse a partir de la función de densidad conjunta velocidad de aproximación/condiciones climáticas y operativas en las que se produce el atraque. Con carácter general y siempre que con los datos disponibles no se haya podido identificar expresamente una ley de variación más acorde con la variabilidad de los datos en el emplazamiento, se ha observado que estas funciones de distribución se ajustan razonablemente a una función de probabilidad del tipo Weibull de mínimos triparamétrica.

Tabla 4.6.4.37. Valores representativos de la componente normal de las velocidades de aproximación del buque en el momento del impacto (V_p), para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante, en el caso de que no haya registros disponibles



◆ Coeficiente de excentricidad (C_e)

El coeficiente de excentricidad tiene en cuenta la proporción de energía cinética desarrollada por el buque que no puede transmitirse al sistema de atraque debido a que el punto de impacto no coincide con el centro de gravedad del buque. Por dicha razón, parte de la energía cinética desarrollada por el buque se disipa fundamentalmente por la rotación o guiñada del buque alrededor del punto de impacto (Ver figura 4.6.4.8).

El coeficiente de excentricidad se obtendrá mediante la formulación siguiente:

$$C_e = \frac{K^2 + R^2 \cos^2 \phi}{K^2 + R^2}$$

siendo:

K : Radio de giro del buque alrededor del eje vertical que pasa por su centro de gravedad. Este parámetro está relacionado con el momento de inercia del buque respecto a un eje vertical que pasa por su centro de gravedad ($I_z = M_b K^2$).

Puede aproximarse por la función $K = (0,19C_b + 0,11) \cdot L$, siendo C_b el coeficiente de bloque del buque y L su eslora (Ver tabla 4.6.4.32).

R : Distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque ⁽⁶¹⁾, medida en la dirección de la línea de atraque. Su magnitud dependerá del lugar del buque donde se produce el impacto y del ángulo de aproximación al atraque (α).

ϕ : Angulo formado entre el vector velocidad de aproximación del buque y la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del buque.

Los parámetros R y ϕ deberán determinarse en función de la experiencia local sobre el comportamiento de los buques durante la maniobra de atraque existente en atraques de similares características y condiciones de utilización, sobre la base, si es posible, de observaciones o datos registrados, bien directamente de estos parámetros o más fácilmente del lugar del buque donde se produce el impacto y del ángulo de aproximación al atraque. También pueden determinarse a través de modelos numéricos o experimentales (Ver epígrafes b_2 y c de este apartado).

Tanto para formulaciones de la energía cinética de carácter determinista o semiprobabilista como probabilista mediante este modelo, será generalmente suficiente adoptar como valores de estos parámetros valores nominales correspondientes a valores frecuentes observados, dado que normalmente en cada emplazamiento y condiciones de utilización las funciones de densidad de dichos parámetros presentan pequeños coeficientes de variación y su influencia no es relevante para el rango de variación del coeficiente C_e .

En ausencia de experiencia local contrastada o de resultados obtenidos por medio de modelos numéricos o experimentales, puede considerarse que en obras de atraque continuas el buque se aproxima al atraque de forma que el punto de impacto se produce lo más cerca posible de la proa que permite el ángulo de aproximación y la forma del casco del buque y de las defensas. De acuerdo con estas consideraciones y a falta de otros datos, las magnitudes de R y ϕ pueden determinarse simplídicamente a partir de la manga del buque (B), del ángulo de aproximación (α) y de la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque, medida sobre el eje longitudinal del buque (r), mediante las siguientes expresiones (Ver figura 4.6.4.8):

$$R = r \cdot \cos\alpha - (B/2) \cdot \operatorname{sen}\alpha$$

$$\phi = 90^\circ - \alpha - \operatorname{arctg}(B/2r),$$

adoptándose como valores frecuentes de r y α los siguientes, dependiendo de las características del buque:

■ Para el ángulo de aproximación (α):

- 5°- 6° para buques con $\Delta \geq 70.000$ t.
- 10-15° para buques con $\Delta < 70.000$ t.

Los valores mayores del rango se adoptarán cuando la maniobra sea sin ayuda de remolcadores.

■ Para la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque (r), medida sobre el eje longitudinal del buque:

- $(1/4)L$ ⁽⁶²⁾

(61) A falta de mejor información, es admisible considerar simplídicamente a estos efectos que el centro de gravedad del buque coincide con su centro geométrico ($1/2L$, $1/2B$).

(62) Este valor se considera válido para los buques en los que aproximadamente el centro de gravedad coincide con el punto medio de la eslora. No obstante, en los buques ferries y ro-ro, el centro de gravedad suele estar desplazado hacia popa. En estos casos, el valor recomendado de r deberá adaptarse a esta circunstancia en función de que la aproximación se realice por proa a popa, manteniendo la posición del punto de impacto recomendada en relación con el punto medio de la eslora.

◆ Coeficiente geométrico del buque (C_g)

El coeficiente geométrico del buque tiene en cuenta la proporción de energía cinética desarrollada por el buque que es absorbida por el sistema de atraque por efecto de la curvatura del buque en el punto de contacto. Se recomiendan valores de $C_g = 0,95$ cuando el punto de impacto se produce en la parte curva del casco de los buques y $C_g = 1$ cuando se produce en la parte plana. Dichos valores tendrán la consideración de valores nominales correspondientes a valores frecuentes y no se les supondrá variación estadística significativa.

La adopción de un valor u otro del coeficiente geométrico del buque depende de la ubicación del punto de impacto en el buque y de la longitud (PBL) del tramo recto del casco del buque (Ver tabla 4.6.4.32). A los efectos de la determinación del punto de impacto son aplicables todas las consideraciones incluidas en esta Recomendación en el epígrafe correspondiente al coeficiente de excentricidad, debiendo quedar garantizada la compatibilidad de los valores del coeficiente geométrico y el de excentricidad. En ausencia de experiencia local contrastada en lo que respecta a la ubicación del punto de impacto y de datos respecto al PBL del buque considerado, con carácter general puede adoptarse 0,95 como valor representativo de C_g en sistemas de atraque continuos.

◆ Coeficiente de configuración del atraque (C_c)

El coeficiente de configuración del atraque tiene en cuenta el efecto amortiguador del colchón de agua que queda atrapado entre el casco del buque y la estructura de atraque, dando lugar a la aparición de una fuerza adicional sobre el buque y a la absorción de parte de la energía cinética desarrollada por el buque.

La magnitud de este efecto depende de los siguientes factores:

- La configuración y tipología estructural de la obra de atraque.
- La distancia libre entre el casco del buque y el sistema de atraque.
- El resguardo bruto bajo quilla.
- La velocidad y el ángulo de aproximación del buque al atraque.
- La forma del casco del buque.

Existe en la actualidad muy pocas experiencias u observaciones sobre la variación de C_c en función de los distintos factores de los que depende. En cualquier caso, siempre que el agua entre el buque y la obra de atraque tenga una fácil salida deberá desprejarse este efecto. Se considerará que este efecto se produce con resguardos brutos $(h_1 - D_e) > 0,5D_e$, ángulos de aproximación $\alpha > 5^\circ$ o velocidades de aproximación $V_b < 0,20$ m/s. En estos casos se adoptará, independientemente del tipo de configuración del atraque, $C_c = 1$.

En los otros casos podrán adoptarse como valores representativos de C_c los siguientes, los cuales tendrán la consideración de valores nominales correspondientes a valores frecuentes y no se les supondrá variación estadística significativa:

- $C_c = 1$
 - Cuando la configuración de la obra de atraque sea de tipo muelle o pantalán y su tipología estructural sea fija abierta (Ver apartado 2.4.2).
 - En los extremos de las obras de atraque, independientemente de su configuración y tipología estructural.
- $C_c = 0,9$
 - Cuando la configuración de la obra de atraque sea de tipo muelle o pantalán y su tipología estructural sea fija cerrada.

◆ Coeficiente de rigidez del sistema de atraque (C_s)

El coeficiente de rigidez del sistema de atraque tiene en cuenta la proporción de la energía cinética desarrollada por el buque absorbida por la deformación elástica del casco del buque y de la totalidad del mismo a lo largo de su eje longitudinal en el momento del impacto. La magnitud de este efecto depende de la rigidez relativa entre el buque y el sistema de atraque.

Existe en la actualidad muy pocas experiencias u observaciones sobre los valores que puede tomar el coeficiente C_s , aunque se admite que en la mayor parte de los casos la contribución de la deformación del buque en la absorción de energía cinética es pequeña y, por tanto, tomará valores muy próximos a la unidad. En el caso contrario, se deberían haber observado grandes deformaciones en los buques que, en la mayoría de los casos, habrían producido averías importantes.

A falta de otros datos podrán adoptarse como valores representativos de C_s los siguientes, los cuales tendrán la consideración de valores nominales correspondientes a valores frecuentes y no se les supondrá variación estadística significativa:

- $C_s = 0,9$, en el caso de sistemas de atraque muy rígidos o buques de gran eslora.
- $C_s = 1$, en el resto de los casos.

A estos efectos se considerará que un sistema de atraque es muy rígido cuando la deformación del sistema de defensa (δ_f) en el momento del impacto del buque considerado es menor o igual a 150 mm. A su vez se considerará buque de gran eslora cuando esta sea mayor o igual a 300 m.

b₁₁₂) *Para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante en obras de atraque fijas discontinuas*

Al igual que en las obras de atraque fijas continuas, en las obras de atraque fijas discontinuas el tipo de maniobra de atraque utilizada por la mayor parte de los buques, salvo buques tipo ferries y ro-ro, es mediante una traslación transversal preponderante. A falta de información más detallada por parte del Promotor, se considerará que todos los buques atracan en obras de atraque fijas discontinuas mediante este tipo de maniobra, incluyendo los ferries y ro-ro que utilicen rampas laterales o pasarelas de embarque.

En estos casos, la determinación de la energía cedida por un buque al sistema de atraque (E_f) podrá realizarse mediante la misma formulación utilizada para atraque transversal o lateral mediante traslación transversal predominante en obras de atraque fijas continuas (Ver epígrafe b₁₁₁ de este apartado), tomando en consideración las siguientes diferencias:

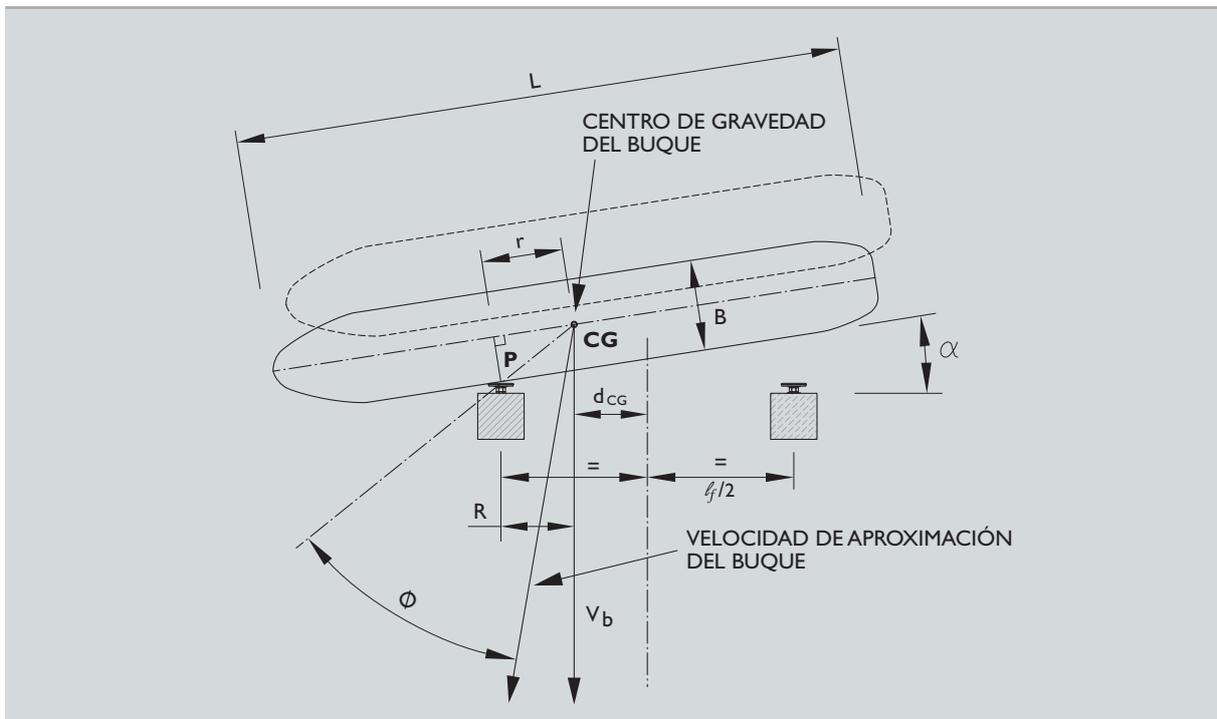
En obras de atraque fijas discontinuas (p.e duques de alba, pantalanés discontinuos o soluciones mixtas), tanto la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque (R) como el ángulo formado entre el vector velocidad de aproximación del buque y la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del buque (ϕ) suelen ser menores que en obras de atraque fijas continuas debido fundamentalmente a la mayor separación entre sistemas de defensas en este tipo de obras ($0,25L-0,4L$), a la discontinuidad de la línea de atraque que reduce la posibilidad de que se produzca un contacto entre el casco del buque y la estructura de atraque, incluso con ángulos de aproximación elevados, y al descentramiento que suele producirse en este tipo de estructuras en el momento del impacto inicial entre el centro de gravedad del buque y el centro geométrico del sistema de atraque (Ver figura 4.6.4.9).

En ausencia de experiencia local contrastada o de resultados obtenidos a partir de modelos numéricos o experimentales, en este tipo de atraques pueden adoptarse como valores frecuentes de R y ϕ los siguientes:

- $R = (1/2 \cdot l_f) - d_{CG}$, siendo:

- l_f : separación entre sistemas de defensas. En general entre $0,25L$ y $0,4L$.
- d_{CG} : descentramiento del centro de gravedad del buque respecto al centro geométrico del sistema de atraque, medido en la dirección de la línea de atraque. A falta de otros datos, para buques con $L \geq 25$ m puede adoptarse como valor frecuente de este parámetro $0,10 \cdot L$, con un mínimo de 10 m y un máximo de 15 m.
- $\phi = 90^\circ - \alpha - \arctg(B/2r)$, siendo:
 - $r = (R/\cos\alpha) + (B/2) \cdot \operatorname{tg} \alpha$
 - α el ángulo de aproximación del buque al atraque. A falta de otros datos puede adoptarse como valor frecuente de este parámetro en este tipo de atraques 7° - 10° , considerándose los valores mayores del rango cuando la maniobra sea sin ayuda de remolcadores.

Figura 4.6.4.9. Atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante a obras de atraque fijas discontinuas



La menor excentricidad del punto de impacto en relación con el centro de gravedad del buque que normalmente se produce en los atraques discontinuos en relación con la que se presenta en los atraques continuos debe tomarse en consideración para la determinación del coeficiente de excentricidad (C_e) asociado con este tipo de atraques. Para un mismo buque, a igualdad de otros factores (ángulo de aproximación, ...) el coeficiente de excentricidad asociado a un atraque discontinuo es mayor que el asociado a un atraque continuo. Es decir, en este tipo de atraques hay una menor proporción de la energía cinética desarrollada por el buque que se disipa por la rotación o guiñada del buque alrededor del punto de impacto.

Asimismo, la menor excentricidad del punto de impacto en los atraques discontinuos supone que, en general, este punto se ubique en el tramo recto del casco del buque, por lo que puede adoptarse 1,0 como valor nominal del coeficiente geométrico del buque (C_g) en este tipo de atraques, a menos que se justifique la adopción de otros valores.

La tipología discontinua del atraque también tiene influencia en el coeficiente de configuración del atraque (C_c), al no ser significativos los efectos amortiguadores del colchón de agua que queda

atrapado entre el casco del buque y la estructura de atraque por la configuración abierta de este tipo de estructuras de atraque. Por dicha razón, en este tipo de obras de atraque se adoptará 1,0 como valor nominal de C_c .

- b₁₁₃) Para atraque lateral, por proa o por popa mediante traslación longitudinal preponderante en obras de atraque fijas

Este tipo de maniobra de atraque es común en buques de pequeño desplazamiento y en buques ferris y ro-ro que utilizan rampas en proa o popa cuando es necesario realizar la maniobra de atraque con una gran rapidez. Es decir, en general cuando el atraque es para buques que pertenecen a líneas regulares con alta frecuencia de llegadas y con reducidos tiempos de servicio. En este caso, la maniobra de atraque consiste en una aproximación longitudinal directa bajo el control del buque y sin utilización de medios auxiliares, teniendo lugar el impacto directamente contra la obra de atraque lateral (Ver figura 4.6.4.10) o, cuando existe, contra la obra de atraque frontal en la que se sitúa, en su caso, la rampa o la estructura de defensa de la misma, utilizando en este último caso la obra de atraque lateral como guía. Es decir, con capacidad para absorber la energía cinética asociada con la componente normal a dicho atraque de la velocidad longitudinal de aproximación (Ver figura 4.6.4.11). Para que se pueda considerar este tipo de maniobra de atraque, la separación del sistema de defensas en la obra de atraque lateral no debe exceder a la separación recomendada para obras de atraque continuas (0,15-0,17L), independientemente de la configuración continua o discontinua de dicha obra de atraque.

Figura 4.6.4.10. Atraque lateral o de costado mediante traslación longitudinal preponderante a obras de atraque fijas

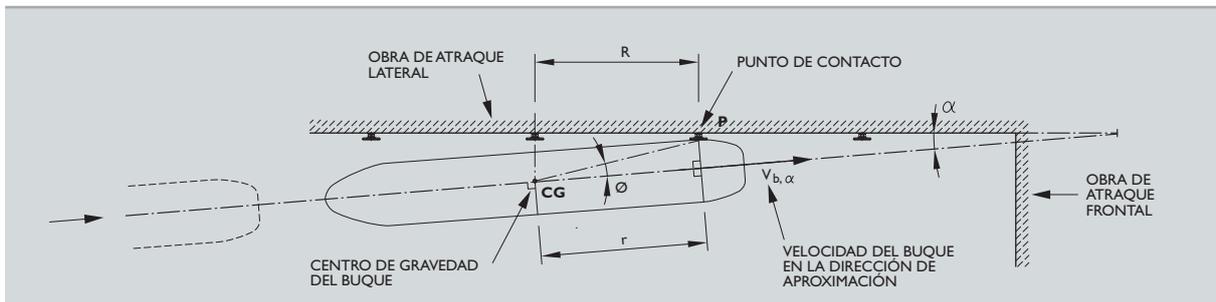
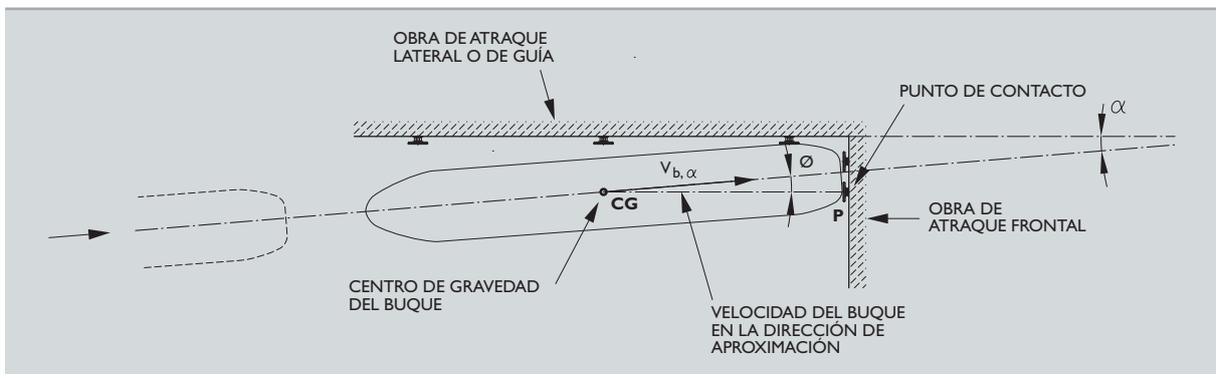


Figura 4.6.4.11. Atraque por proa o por popa mediante traslación longitudinal preponderante a obras de atraque fijas



Mediante este tipo de maniobra, debe considerarse, por tanto, la energía que puede ser cedida por el buque al sistema de atraque en cada una de las alineaciones.

◆ Energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque lateral (E_{fL})

La energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque lateral (E_{fL}) en el punto de impacto puede determinarse mediante la formulación general establecida para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante, considerando la componente normal a dicho atraque de la velocidad longitudinal de aproximación del buque. Es decir:

$$V_b = V_{b,\alpha} \cdot \text{sen } \alpha$$

Siendo $V_{b,\alpha}$ la velocidad del buque en la dirección de aproximación en el momento del impacto.

Por tanto, la energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque lateral (E_{fL}) con este tipo de maniobra puede determinarse mediante la expresión:

$$\begin{aligned} E_{fL} = E_b \cdot C_b &= \left[\frac{1}{2} (C_m M_b) \cdot (V_b)^2 \right] C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s = \left[\frac{1}{2} (C_m M_b) \cdot (V_{b,\alpha} \cdot \text{sen} \alpha)^2 \right] \cdot C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s = \\ &= \left[\frac{1}{2g} (C_m \Delta) \cdot (V_{b,\alpha} \cdot \text{sen} \alpha)^2 \right] \cdot C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s \end{aligned}$$

siendo:

- E_b : Energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque ($kN.m$).
- C_b : Coeficiente ($C_b = C_e C_g C_c C_s$) de atraque (adimensional).
- $C_m M_b$: Masa movilizada por el buque durante el atraque.
- M_b : Masa del buque ($M_b = \Delta/g$).
- Δ : Desplazamiento del buque (kN).
- g : Aceleración de la gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$).
- C_m : Coeficiente de masa hidrodinámica (adimensional).
- $V_{b,\alpha}$: La velocidad del buque en la dirección de aproximación en el momento del impacto (m/s).
- α : El ángulo de aproximación al atraque.
- C_e : Coeficiente de excentricidad (adimensional).
- C_g : Coeficiente geométrico del buque (adimensional).
- C_c : Coeficiente de configuración del atraque (adimensional).
- C_s : Coeficiente de rigidez del sistema de atraque (adimensional).

Para la determinación de los coeficientes C_g , C_c y C_s será totalmente de aplicación lo definido para dichos coeficientes en los epígrafes b_{111} y b_{112} para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante.

A menos que se justifique la adopción de otros valores, para aproximaciones longitudinales al atraque lateral se recomienda considerar como valor nominal del coeficiente de masa hidrodinámica $C_m = 1,10$, independientemente del resguardo bajo quilla.

Cuando se disponga de registros o de resultados provenientes de modelos numéricos o experimentales fiables, completos, suficientes y representativos o haya experiencia local contrastada, la velocidad de aproximación del buque ($V_{b,\alpha}$) también será definida de acuerdo con lo indicado para estos casos en el epígrafe b_{111}) tanto para formulaciones de la energía cinética de carácter determinista o semiprobabilista como probabilista. No obstante, en el caso de que este tipo de registros o resultados no estén disponibles, no haya experiencia local contrastada o no se disponga de información más precisa, para formulaciones deterministas o determinista-probabilista podrá adoptarse como valor representativo de la velocidad de aproximación:

- $V_{b,\alpha} = 2 \text{ m/s}$, cuando las condiciones climáticas y operativas más desfavorables en las que se considera la realización de la maniobra de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas, así como, en su caso, cuando las condiciones climáticas asociadas a las condiciones extremas y

excepcionales que deban considerarse, son definidas como favorables de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36.

- $V_{b,\alpha} = 3$ m/s, cuando las condiciones climáticas y operativas más desfavorables en las que se considera la realización de la maniobra de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas, así como, en su caso cuando las condiciones climáticas asociadas a las condiciones extremas y excepcionales que deban considerarse, son definidas como moderadas de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36. ⁽⁶³⁾

No se considerará la realización de este tipo de maniobra de atraque en condiciones climáticas clasificadas como desfavorables de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36.

Estos valores de la velocidad longitudinal de aproximación están asociados a ataque lateral o de costado mediante traslación longitudinal preponderante. No obstante, del lado de la seguridad se considerarán los mismos valores para la determinación de la energía cedida al atraque lateral en el caso de atraque directo por proa o popa a una obra de atraque frontal con el mismo tipo de maniobra utilizando el atraque lateral como guía, aunque en estos casos la velocidad de aproximación observada es menor (Ver epígrafe correspondiente a la energía cedida por el buque al sistema de atraque frontal). La razón es que con esta configuración de atraque son posibles ambos tipos de maniobra.

Para la determinación del valor nominal del coeficiente de excentricidad (C_e) será de aplicación lo dispuesto a estos efectos en los epígrafes b_{111} de este apartado, tomando asimismo como f el ángulo formado entre la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del buque y el vector velocidad del buque (Ver figura 4.6.4.10). No obstante, en estos casos y en ausencia de experiencia local contrastada o de resultados provenientes de modelos numéricos o experimentales, puede considerarse que, tanto si la obra de atraque lateral es continua como discontinua, si el buque se aproxima a dicho atraque mediante una traslación longitudinal preponderante el punto de contacto se produce lo más cerca posible de la proa o la popa que permite el ángulo de aproximación y la forma del casco del buque y de las defensas. De acuerdo con estas consideraciones, las magnitudes de R y ϕ pueden determinarse simplificadaamente en este tipo de maniobra mediante las siguientes expresiones (Ver figura 4.6.4.10):

$$R = r \cdot \cos\alpha - (B/2) \cdot \operatorname{sen}\alpha$$

$$\phi = \operatorname{arctg}(B/2r)$$

A falta de otros datos, se podrán adoptar como valores nominales correspondientes a valores frecuentes observados de r y a los siguientes:

- Para el ángulo de aproximación (α)
 - 15°, excepto si la disposición geométrica del atraque obliga a uno menor.
- Para la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque (r), medida sobre el eje longitudinal del buque
 - $(1/4)L$ ⁽⁶⁴⁾

(63) Cuando la maniobra para atraque lateral o de costado es mediante traslación longitudinal preponderante los valores representativos de la velocidad de aproximación son mucho mayores que los adoptados cuando la maniobra de atraque lateral se realiza mediante traslación transversal debido a que los tipos de buques que pueden efectuar este tipo de maniobras (ferries y ro-ro fundamentalmente) suelen estar dotados de características de maniobrabilidad náutica y mecanismos de propulsión que permiten realizar las operaciones de atraque de forma mucho más rápida, así como a los reducidos tiempos de servicio o de utilización del atraque asociados generalmente con este tipo de buques.

(64) Este valor se considera válido para los buques en los que aproximadamente el centro de gravedad coincide con el punto medio de la eslora. No obstante, en los buques ferries y ro-ro, el centro de gravedad suele estar desplazado hacia popa. En estos casos, el valor recomendado de r deberá adaptarse a esta circunstancia en función de que la aproximación se realice por proa a popa, manteniendo la posición del punto de impacto recomendada en relación con el punto medio de la eslora.

◆ Energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque frontal (E_{fF})

La energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque frontal (E_{fF}) en el punto de impacto puede determinarse mediante la formulación general establecida para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante, considerando la componente normal a dicho atraque de la velocidad longitudinal de aproximación del buque ($V_b = V_{b,\alpha} \cdot \cos\alpha$), que el coeficiente de excentricidad puede adoptarse igual a 1 debido a que, en este tipo de maniobra, el ángulo α formado entre el vector velocidad de aproximación del buque y la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del buque es menor de 10° (Ver figura 4.6.4.11) y que los valores frecuentes observados para el resto de los coeficientes que intervienen en la formulación están próximos a la unidad.

Por tanto, la energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque frontal con este tipo de maniobra (E_{fF}) puede determinarse mediante la expresión:

$$E_{fF} = E_b \cdot C_b = \left[\frac{1}{2} (M_b) \cdot (V_{b,\alpha} \cdot \cos\alpha)^2 \right] = \left[\frac{1}{2g} (\Delta) \cdot (V_{b,\alpha} \cdot \cos\alpha)^2 \right]$$

Siendo $V_{b,\alpha}$ es la velocidad del buque en la dirección de aproximación en el momento del impacto y α el ángulo de aproximación (Ver figura 4.6.4.11).

Es decir, puede admitirse que la energía cinética generada por el buque considerando la componente normal al atraque de la velocidad de aproximación es cedida en su totalidad al sistema de atraque frontal.

Cuando se dispongan de registros o resultados provenientes de modelos numéricos o experimentales fiables, la velocidad de aproximación del buque será definida de acuerdo con lo indicado para estos casos en el epígrafe b_{111}) tanto para formulaciones de la energía cinética de carácter determinista o semiprobabilista como probabilista. En el caso de que este tipo de registros o resultados no esté disponible, no haya experiencia local contrastada o no se disponga de información más precisa, para formulaciones deterministas o semiprobabilistas podrá adoptarse como valor representativo de la velocidad de aproximación para atraque por proa o popa mediante traslación longitudinal preponderante:

- $V_{b,\alpha} = 0,5$ m/s cuando las condiciones climáticas y operativas más desfavorables en las que se considera la realización de la maniobra de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas, así como, en su caso, cuando las condiciones climáticas asociadas a las condiciones extremas o excepcionales que deban considerarse, son definidas como favorables de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36.
- $V_{b,\alpha} = 1$ m/s, cuando las condiciones climáticas y operativas más desfavorables en las que se considera la realización de la maniobra de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas, así como, en su caso, cuando las condiciones climáticas asociadas a las condiciones extremas o excepcionales que deban considerarse, son definidas como moderadas de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36.

No se considerará la realización de este tipo de maniobra de atraque en condiciones climáticas clasificadas como desfavorables de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36.

A falta de otros datos, se podrá adoptar 15° como valor nominal del ángulo de aproximación correspondiente a valores frecuentes observados, excepto si la disposición geométrica del atraque obliga a uno menor.

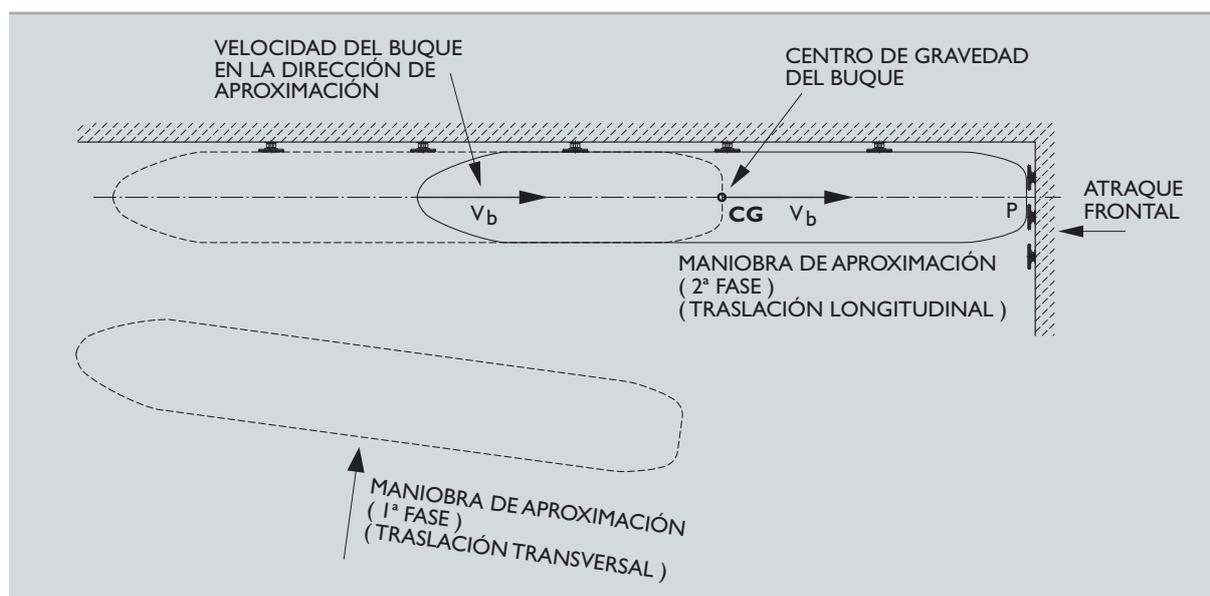
b_{114}) Para atraque por proa o popa mediante traslación longitudinal en obras de atraque fijas, a partir de buque parado

Este tipo de maniobra de atraque es común en buques ferries, ro-ro y transportadores de coches que utilizan rampas a proa o popa, cuando son de gran tamaño o la aproximación a la instalación de atraque es difícil o se hace con medios auxiliares. En este caso, la maniobra de atraque se divide en dos fases. Pri-

mero una aproximación a un atraque lateral mediante una traslación transversal o longitudinal preponderante, para a continuación, y desde una situación prácticamente de parada, aproximarse al atraque de proa o popa mediante una lenta traslación longitudinal. (Ver figura 4.6.4.12).

Para la determinación de la energía cinética cedida al atraque lateral será de aplicación los apartados b_{111} y b_{113} de este apartado en función del tipo de la maniobra realizada en la primera fase de la operación.

Figura 4.6.4.12. Atraque por proa o popa mediante traslación longitudinal a obras de atraque fijas a partir de buque parado



Al igual que para la determinación de la energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque frontal mediante maniobra de traslación longitudinal predominante, en el caso de maniobra de traslación longitudinal pura a partir de buque parado la energía cinética cedida al atraque frontal (E_{FF}) en el punto de impacto puede determinarse mediante la expresión:

$$E_{FF} = E_b \cdot C_b = \left[\frac{1}{2} (M_b) \cdot (V)^2 \right] = \left[\frac{1}{2g} (\Delta) \cdot (V_b)^2 \right]$$

También en este caso, se considera que la energía cinética generada por el buque es cedida en su totalidad al sistema de atraque.

V_b es la velocidad de aproximación longitudinal al atraque de proa o popa. Cuando se dispongan de registros o de resultados provenientes de modelos numéricos o experimentales fiables, la velocidad de aproximación del buque será definida de acuerdo con lo indicado para estos casos en el epígrafe b_{111}) tanto para formulaciones de la energía cinética de carácter determinista o semiprobabilista como probabilista. En el caso de que este tipo de registros o resultados no esté disponible, no haya experiencia local contrastada o no se disponga de información más precisa, para formulaciones deterministas o semiprobabilistas podrá adoptarse como valor representativo de la velocidad de aproximación 0,20 m/s, independientemente del desplazamiento del buque, siempre y cuando las condiciones climáticas y operativas más desfavorables en las que se considera la realización de la maniobra de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas, así como, en su caso, cuando las condiciones climáticas asociadas a las condiciones extremas o excepcionales que deban considerarse, sean definidas

como favorables o moderadas de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36. Para condiciones climáticas desfavorables podrá adoptarse 0,50 m/s como valor representativo de la velocidad de aproximación.

b₁₁₅) *Para atraque en obras de atraque flotantes y en estaciones de transferencia*

Las obras de atraque flotantes del tipo pontona, pantalán o cajón resisten principalmente las acciones de atraque mediante su transmisión a los sistemas de guiado fijos, los dispositivos de apoyo en tierra y/o a los sistemas de amarre de los que disponga para mantener en posición la estructura y compatibilizar sus movimientos con los requerimientos operativos exigidos. Por tanto, a los efectos de la determinación de la energía cinética del buque cedida a este tipo de atraques, pueden considerarse que la obra de atraque se comporta como fija, siendo de aplicación las formulaciones matemáticas incluidas en esta Recomendación para ese tipo de obras en función de las condiciones y tipo de maniobra de aproximación del buque al atraque, así como de la configuración de la obra de atraque (epígrafes b₁₁₁ a b₁₁₄).

En el caso de atraque a estaciones de transferencia (atraque buque a buque), considerando atraque lateral o de costado de buque a buque mediante traslación transversal preponderante (Ver figura 4.6.4.13), para la definición de la energía cinética del buque cedida al sistema de atraque también será de aplicación la formulación correspondiente a obras de atraque fijas continuas (epígrafe b₁₁₁) con las siguientes modificaciones:

◆ Coeficiente de masa hidrodinámica (C_m)

El valor nominal del coeficiente de masa hidrodinámica podrá determinarse por medio de la siguiente formulación:

$$C_m = \frac{C_{m,1}C_{m,2}\Delta_2}{C_{m,1}\Delta_1 + C_{m,2}\Delta_2}$$

Δ_1 : Desplazamiento del buque que atraca.

Δ_2 : Desplazamiento del buque o artefacto flotante correspondiente a la estación de transferencia (buque o artefacto flotante sobre el que se atraca).

$C_{m,1}$: Coeficiente de masa hidrodinámica correspondiente al buque que atraca, obtenido de acuerdo con la formulación recomendada en el epígrafe b₁₁₁.

$C_{m,2}$: Coeficiente de masa hidrodinámica correspondiente a la estación de transferencia, obtenido de acuerdo con la formulación recomendada en el epígrafe b₁₁₁.

◆ Coeficiente de rigidez del sistema de atraque (C_s)

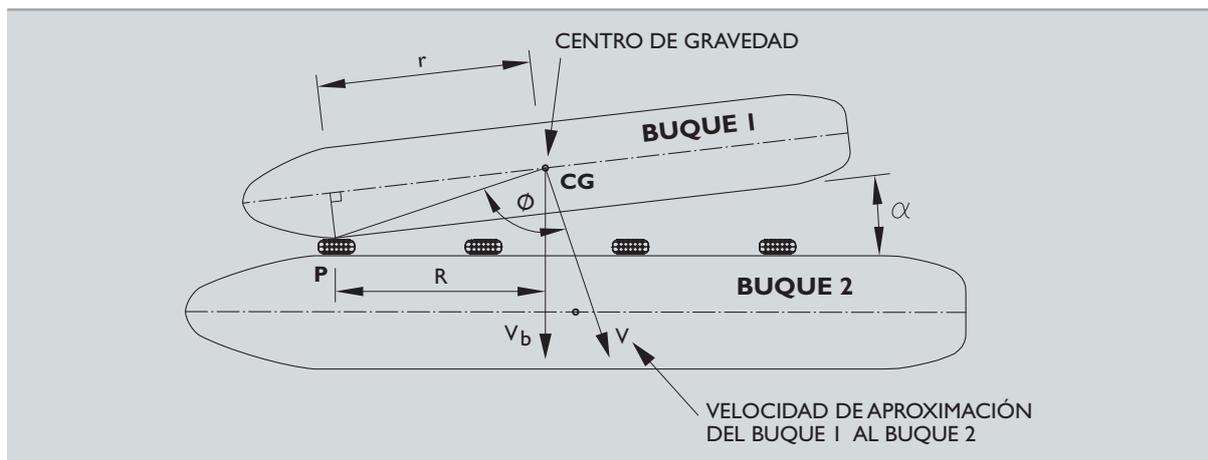
A falta de otros datos, se adoptará como valor representativo del coeficiente de rigidez del sistema de atraque (C_s):

$$C_s = \frac{1}{1 + \Delta_1 / \Delta_2}$$

El método matemático analítico para determinar la energía cinética desarrollada por un buque y cedida al sistema de atraque durante las operaciones de atraque incluido en esta Recomendación se resume en la tabla 4.6.4.38. En dicha tabla se incluye un gráfico en el que se integran ordenadamente los principales factores que intervienen en la formulación, así como las múltiples dependencias funcionales e interrelaciones que se establecen entre los mismos, los cuales se desarrollan ampliamente en el texto de la Recomendación. Como puede observarse en dicho gráfico, la determinación de la energía cedida al sistema de atraque exige previamente al Promotor o al Proyectista

la definición de las características del buque, las condiciones y tipo de maniobra de atraque, los medios auxiliares utilizados, la configuración del atraque y su tipología estructural, las características del sistema de amarre y defensas y las condiciones climáticas en el emplazamiento más desfavorables en la que se considera la realización de la maniobra de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas, así como, en su caso, las condiciones climáticas asociadas a las condiciones extremas o excepcionales que deban considerarse.

Figura 4.6.4.13. Atraque lateral o de costado mediante una traslación transversal proponderante a una estación de transferencia a flote. Atraque buque a buque



- b₁₂) Definición de la energía cinética cedida al sistema de atraque por la flota esperable en el atraque durante las maniobras de atraque

Cuando la flota esperable de buques en el atraque esté formada por buques de tipo, características y situaciones de carga diferentes no deberá limitarse la determinación de la energía cinética cedida al sistema de atraque al buque de mayor desplazamiento sino que deberá definirse para cada uno de los buques y situaciones de carga de los mismos, tomando en consideración todas las condiciones climáticas que no sobrepasen los límites de operatividad adoptados. El buque de mayor desplazamiento no debe conducir necesariamente a la mayor energía cinética en la medida en que algunos parámetros que intervienen en la formulación (p.e. la velocidad de aproximación) pueden ser más desfavorables en buques de menor tamaño. De igual modo, para cada buque la máxima energía cedida al sistema de atraque en condiciones normales operativas no tiene por qué estar asociada con las condiciones climáticas límite de operatividad, particularmente si los medios auxiliares utilizados (p.e. remolcadores) no son los mismos en todas las condiciones climáticas incluidas en el ciclo de solicitud correspondiente a la realización de las maniobras de atraque ⁽⁶⁵⁾.

Mediante el método analítico, en función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las energías cedidas durante la maniobra de atraque se definirán:

- b₁₂₁) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilista

El valor representativo de la energía cedida por cada buque al sistema de atraque correspondiente a condiciones normales operativas correspondientes al estado límite de opera-

(65) Al ser las velocidades de aproximación del buque al atraque menores cuando se utilizan remolcadores, si las condiciones de explotación de la instalación exigen la utilización de remolcadores para las maniobras de atraque a partir de unas condiciones climáticas, puede producirse que para condiciones climáticas más favorables que las adoptadas como límite de operatividad de la instalación para esta condición de trabajo la velocidad de aproximación sea mayor, consecuentemente, sea mayor la energía cedida al sistema de atraque.

ciones de atraque, así como, en su caso, a condiciones extremas y excepcionales, se obtendrá introduciendo en la formulación los valores representativos en la correspondiente condición de trabajo de cada uno de los factores que intervienen en la misma, obtenidos de acuerdo con lo establecido en el epígrafe b_{11} de este apartado para formulaciones de la energía cinética cedida al sistema de atraque mediante formulaciones deterministas y determinista-probabilistas ⁽⁶⁶⁾.

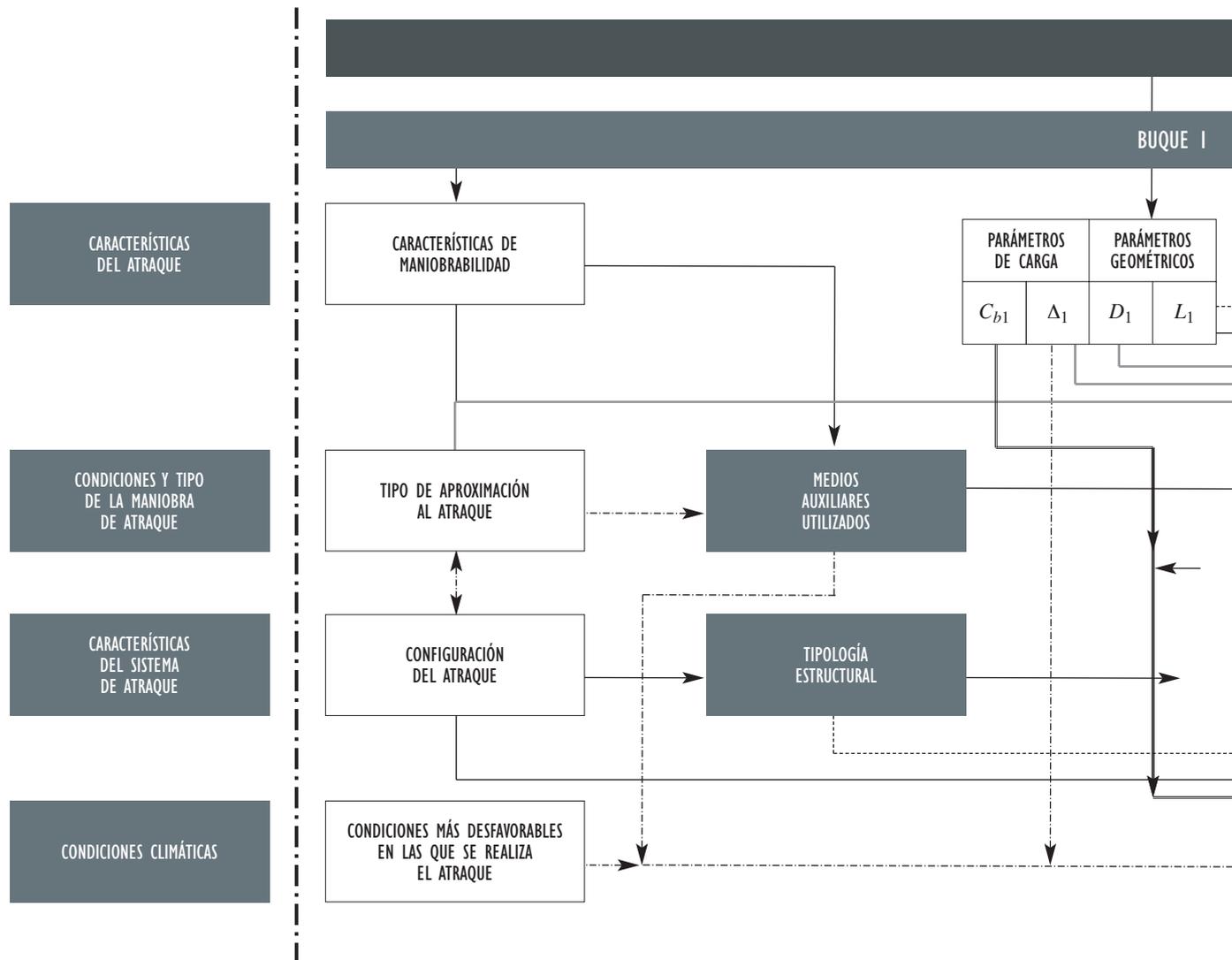
Lo anterior es válido si, a lo sumo, la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto en las diferentes condiciones climáticas en las que se considere que puede tener lugar la maniobra de atraque es el único factor que, aparte de los parámetros del buque, se ha definido mediante un modelo de probabilidad fiable. En la actualidad, este parámetro suele ser el único que, en algunos emplazamientos, puede definirse mediante un modelo de probabilidad fiable. A su vez, este es el factor predominante y el factor cuyo rango de variación es más relevante para la definición de la energía cinética.

No obstante, si hubiera más factores definidos mediante funciones de distribución fiables (como por ejemplo el ángulo de aproximación), para definir los valores representativos de la energía cinética cedida al sistema de atraque por un buque en cada condición de trabajo sería más correcto definir la función de distribución de dicha energía, obteniéndola como función derivada de las funciones de distribución de las variables climáticas y las del resto de factores que intervienen en su determinación, en el emplazamiento y en la condición de trabajo considerada, adoptando como valor representativo de la misma el correspondiente al cuantil del 95% de probabilidad de no excedencia en dicha función de distribución para condiciones normales de operación o, en su caso, al cuantil del 85% para condiciones extremas o excepcionales. En aquellos casos en el que los factores pudieran presentar un cierto grado de dependencia (p.e. velocidad de aproximación o el ángulo de aproximación con las condiciones climáticas) para su obtención deberán considerarse las funciones de distribución condicionadas a los valores adoptados para las variables de las que dependen (normalmente se adoptarán las condiciones climáticas como variables principales). Para condiciones normales operativas, las condiciones climáticas se definirán por medio de las funciones de distribución anual conjunta (magnitud/dirección) de las variables principales de los agentes climáticos independientes entre sí, así como, para las variables dependientes de las anteriores, por medio de las funciones de distribución conjunta magnitud-dirección, condicionadas a cada valor y , en su caso, dirección, de la variable principal de la que dependen. Dichas funciones de distribución estarán truncadas, en su caso, por el valor umbral límite de operatividad correspondiente al buque considerado definido para la variable en cada dirección para la realización de las maniobras de atraque. Para condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, las condiciones climáticas se definirán por medio de las funciones de distribución extremas magnitud-dirección de las variables independientes entre sí que no son causa de limitación de las maniobras de atraque. El resto de variables principales de los agentes actuantes independientes se definirán del mismo modo, pero truncadas, en su caso, por el valor umbral límite de operatividad definido en cada dirección para la realización de las maniobras de atraque. Las variables dependientes de las anteriores se definirán por medio de las funciones de distribución de las variables dependientes de las anteriores, condicionadas a cada valor extremal y , en su caso, dirección, de la variable de la que dependen.

Las funciones de distribución de la energía cedida al sistema de atraque en cada condición de trabajo derivadas de las funciones de distribución de los factores que intervienen en su

(66) Valor más desfavorable correspondiente al cuantil del 95% de las funciones de distribución del parámetro velocidad de aproximación condicionadas a cada una de las condiciones climáticas en las que puede realizarse la operación en condiciones normales operativas (favorables, moderadas y/o desfavorables) o, en su caso, el correspondiente al cuantil del 85% en la función de distribución de dicho parámetro condicionada a las condiciones climáticas definidas por el valor representativo en condiciones extremas o excepcionales adoptado para la variable climática que define estas condiciones de trabajo (Ver apartado 4.1.1.1.1. a y b_1), y valores nominales del resto de factores, asociados a valores frecuentes observados.

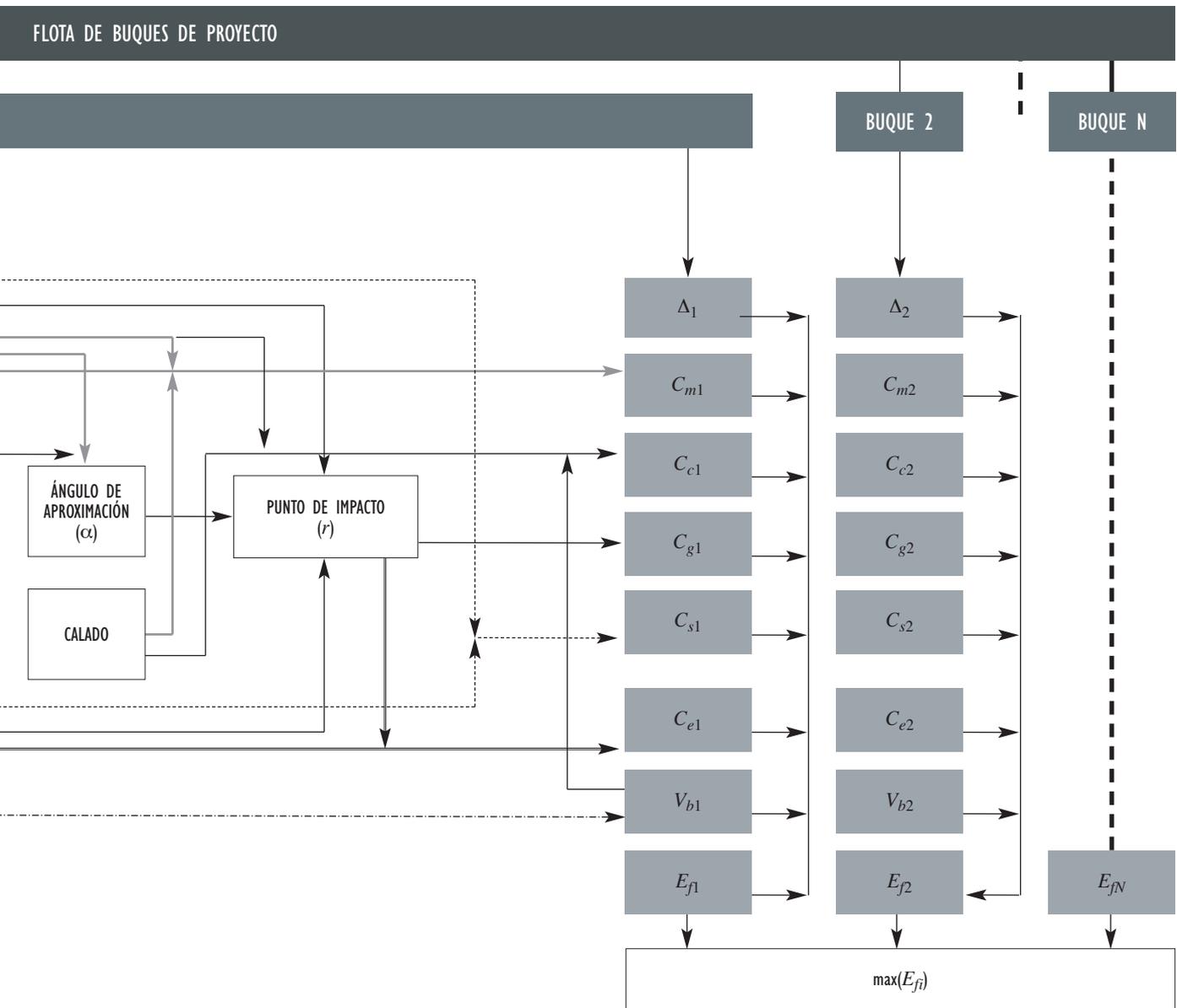
Tabla 4.6.4.38. Resumen del método matemático analítico para determinar la energía cinética desarrollada por un buque y cedida al sistema de atraque durante la operación de atraque



determinación pueden obtenerse por medio del ajuste de una función de distribución a los resultados obtenidos al introducir cada conjunto de valores obtenidos de forma aleatoria (p.e mediante el método de Monte Carlo) en la formulación analítica.

El valor característico de la energía cinética cedida al sistema de atraque en cada condición de trabajo será el mayor de los valores representativos de la energía cedida al sistema de atraque de entre los correspondientes a cada uno de los buques y situaciones de carga que componen la flota esperable en el atraque en la condición de trabajo considerada (Ver tabla 4.6.4.38).

Las condiciones climáticas asociadas con el valor característico de la energía cinética cedida al sistema de atraque en condiciones de trabajo correspondientes al esta-



do límite de operaciones de atraque definirán los estados meteorológicos representativos de dichas condiciones a los efectos de la obtención de los valores compatibles de otros agentes de uso y explotación en dicho estado que dependan de los agentes meteorológicos. En el caso de que las condiciones climáticas asociadas con el valor característico de la energía cinética cedida se hayan definido únicamente como favorables, moderadas o desfavorables de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.36, se considerarán como estados meteorológicos representativos de esta condición de trabajo los definidos por el valor límite más desfavorable de cada una de las variables climáticas en la condición climática correspondiente, según lo dispuesto en la tabla citada, consideradas sucesivamente como predominantes, diferenciadas en su caso por sectores direccionales de actuación, y por los valores de compatibilidad establecidos para condiciones de trabajo operativas, con el valor y

dirección adoptados para la variable predominante, del resto de variables de actuación simultánea ⁽⁶⁷⁾.

Los valores representativos de la energía cedida al sistema de atraque durante las operaciones de atraque, utilizando para su determinación métodos matemáticos analíticos, se resumen en la tabla 4.6.4.39.

Tabla 4.6.4.39. Valores representativos de la energía cinética desarrollada por un buque y cedida al sistema de atraque durante las operaciones de atraque (determinada mediante métodos matemáticos analíticos) Para la verificación de estados límite con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo

CONDICIÓN DE TRABAJO	DEFINICIÓN DE FACTORES	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Normales Operativas correspondientes al estado límite de operaciones de atraque (CTI,1)	Todos los factores se definen sin base estadística	El mayor valor representativo de la energía cedida entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos. Siendo el valor representativo de la energía cedida por un buque al sistema de atraque, el obtenido introduciendo en la formulación los siguientes valores: <ul style="list-style-type: none"> – El valor nominal más desfavorable de la velocidad de aproximación del buque al puesto de atraque, de entre todos los correspondientes a todas las condiciones climáticas en las que se considera la realización por el buque de las maniobras de atraque en condiciones normales operativas ¹⁾. – El valor nominal del resto de los factores (valor frecuente). 	–	–	–
	Uno de los factores con base estadística fiable ²⁾	El mayor valor representativo de la energía cedida entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos. Siendo el valor representativo de la energía cedida por un buque al sistema de atraque, el obtenido introduciendo en la formulación los siguientes valores: <ul style="list-style-type: none"> – En el caso del factor con base estadística, el valor más desfavorable de entre los correspondientes al cuantil del 95% en las funciones de distribución de dicho factor, condicionadas a la presentación de cada una de las condiciones climáticas (favorables, moderadas y/o desfavorables) en las que se considera la realización por el buque de maniobras de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas ¹⁾. – El valor nominal de cada uno del resto de los factores definidos sin base estadística. 	–	–	–

(67) – Variable principal del agente climático adoptado como predominante: valor límite más desfavorable en la condición climática correspondiente (favorable, moderada o desfavorable).

- Variables principales del resto de agentes climáticos de actuación simultánea, independientes del agente predominante: probabilidad absoluta de no excedencia del 50%, en el año medio, sin superar, en su caso, el límite que pudiera estar establecido individualmente para la variable en la condición climática correspondiente. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite.
- Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada.
- Para los agentes operativos desfavorables: condición límite de explotación o valor máximo previsible.

Valores representativos de la energía cinética desarrollada por un buque y cedida al sistema de atraque durante las operaciones de atraque (determinada mediante métodos matemáticos analíticos) Para la verificación de estados límite con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo (continuación)

CONDICIÓN DE TRABAJO	DEFINICIÓN DE FACTORES	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Normales Operativas correspondientes al estado límite de operaciones de atraque (CT1,1)	Más de uno de los factores con base estadística fiable	El mayor valor representativo de la energía cedida entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos. Siendo el valor representativo de la energía cedida por un buque al sistema de atraque, el siguiente:			
		<ul style="list-style-type: none"> – El correspondiente al cuantil del 95% en la función de distribución de la energía cedida por el buque al sistema de atraque, obtenida como función derivada de las funciones de distribución, en las condiciones climáticas consideradas para la realización de las maniobras de atraque en condiciones normales operativas, de los factores de los que depende. Dicha función derivada puede obtenerse por medio del ajuste de una función de distribución a los resultados obtenidos al introducir cada conjunto de valores de los factores, obtenidos de forma aleatoria (p.e mediante el método de Monte Carlo), en la formulación analítica. 	–	–	–
Condiciones de Trabajo Extremas y condiciones de trabajo Excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario (CT2) y (CT3,1) ³⁾	Todos los factores se definen sin base estadística	El mayor valor representativo de la energía cedida entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable, en las situaciones de carga límite de los mismos, en los cuales la variable del agente climático que define el estado meteorológico extremal y excepcional no es causa de limitación de las maniobras de atraque. Siendo el valor representativo de la energía cedida por un buque al sistema de atraque, el obtenido introduciendo en la formulación los siguientes valores:			
		<ul style="list-style-type: none"> – El valor nominal de la velocidad de aproximación del buque al puesto de atraque, en las condiciones climáticas correspondientes al estado meteorológico extremal o excepcional considerado. – El valor nominal del resto de los factores (valor frecuente). 	–	–	–
	Un de los factores con base estadística fiable ²⁾	El mayor valor representativo de la energía cedida entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable, en las situaciones de carga límite de los mismos, en los cuales la variable del agente climático que define el estado meteorológico extremal y excepcional no es causa de limitación de las maniobras de atraque. Siendo el valor representativo de la energía cedida por un buque al sistema de atraque, el obtenido introduciendo en la formulación los siguientes valores:			
	<ul style="list-style-type: none"> – En el caso del factor con base estadística, el valor más desfavorable de entre los correspondientes al cuantil del 85% en la función de distribución de dicho factor, condicionada a las condiciones climáticas definidas por el valor representativo en condiciones extremales o excepcionales adoptado para la variable climática que define estas condiciones de trabajo. – El valor nominal de cada uno del resto de los factores definidos sin base estadística. 	–	–	–	

Valores representativos de la energía cinética desarrollada por un buque y cedida al sistema de atraque durante las operaciones de atraque (determinada mediante métodos matemáticos analíticos) Para la verificación de estados límite con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo (continuación)

CONDICIÓN DE TRABAJO	DEFINICIÓN DE FACTORES	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Extremas y condiciones de trabajo Excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario (CT2) y (CT3,1) ³⁾	Más de uno de los factores con base estadística fiable	El mayor valor representativo de la energía cedida entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos, en las cuales la variable del agente climático que define el estado meteorológico extremal o excepcional no es causa de limitación de las maniobras de atraque. Siendo el valor representativo de la energía cedida por un buque al sistema de atraque, el siguiente: – El correspondiente al cuantil del 85% en la función de distribución de la energía cedida por el buque al sistema de atraque, obtenida como función derivada de las funciones de distribución, en las condiciones extremas o excepcionales consideradas, de los factores de los que depende. Dicha función derivada puede obtenerse por medio del ajuste de una función de distribución a los resultados obtenidos al introducir cada conjunto de valores de los factores, obtenidos de forma aleatoria (p.e mediante el método de Monte Carlo), en la formulación analítica.	–	–	–
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario (CT3,2) ⁴⁾	–	–	–	–	–
Condiciones de Trabajo Extremas y Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32) ⁴⁾	–	–	–	–	–

Notas

- 1) En el caso de que, de acuerdo con los criterios de explotación de la instalación, las operaciones de atraque de cada buque se realicen con los mismos medios auxiliares (p.e. con o sin remolcadores) independientemente de las condiciones climáticas, el valor más desfavorable de la velocidad de aproximación se corresponderá con la condición climática más desfavorable de entre las que se puede realizar la maniobra de atraque (condiciones límite de operatividad).
- 2) En general, en algunos emplazamientos, aparte de los asociados con el buque, el único factor que puede estar definido mediante un modelo de probabilidad fiable es la velocidad de aproximación del buque en momento del impacto. A su vez, es el factor más relevante para la definición de la energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque.
- 3) Únicamente se considerará la actuación de cargas de atraque en condiciones de trabajo extremas y excepcionales en aquellos casos en los que la presentación de una variable de un agente climático no sea causa de limitación de las maniobras de atraque para alguno de los buques esperables en atraque. El estado meteorológico en condiciones extremas y excepcionales, respectivamente a considerar como estado de proyecto en cada una de dichas condiciones de trabajo es el definido por dicha variable considerada como predominante (ver apartado 4.1.1.1.a, 4.1.1.1.b₁ y 4.6.2.1).
- 4) En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario, así como en condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica no se considera la actuación de cargas de atraque.

b₁₂₂) Para formulaciones probabilistas

La función de distribución de la energía cedida al sistema de atraque por la flota esperable en el atraque en cada ciclo de sollicitación en la que puedan presentarse cargas de atraque (condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de maniobras de atraque, así como, en su caso, condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario) puede definirse como una función derivada de:

- La función de densidad bivariada del parámetro principal y de la tipología de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, así como las funciones de distribución de los distintos parámetros geométricos del buque (eslora, manga, calado estático,...), condicionadas a cada tipología y valor del parámetro principal, para las situaciones límite de carga del mismo ⁽⁶⁸⁾. A falta de otros datos, para cada valor del parámetro principal del buque la situación de carga del mismo puede definirse mediante una función uniforme discreta considerando únicamente como variables “buque a plena carga” y “buque en lastre”.
- La función de distribución de la energía cedida al sistema de atraque por cada uno de los buques y situaciones de carga de los mismos pertenecientes a la flota esperable en el atraque, correspondiente a la situación de trabajo considerado. Esta función de distribución podrá asimismo obtenerse como función derivada de las funciones de distribución de las variables climáticas y las de los factores de los que depende en la condición de trabajo considerada, tomando en consideración los factores que pueden considerarse independientes entre sí y los que están correlacionados. Como los factores correlacionados dependen fundamentalmente de las condiciones climáticas, se recomienda considerar la variable climática predominante en el emplazamiento en las condiciones de trabajo analizadas como variable principal. La definición de las funciones de distribución de las condiciones climáticas y del resto de factores a considerar en cada condición de trabajo, así como de la energía cedida al sistema de atraque por cada tipo y situación de carga del buque, se recoge en el epígrafe *b₁₂₁* de este apartado.

La función de distribución de la energía cedida al sistema de atraque en cada una de las condiciones de trabajo, considerando el conjunto de buques y situaciones de carga de los mismos, puede obtenerse por medio del ajuste de una función de distribución a los resultados obtenidos de forma aleatoria (p.e. mediante el método de Monte Carlo) a partir de las funciones de distribución que caracterizan a la flota esperable en el atraque y a la energía cedida al sistema de atraque por cada uno de los buques y situaciones de carga pertenecientes a dicha flota.

b₂) Modelos numéricos

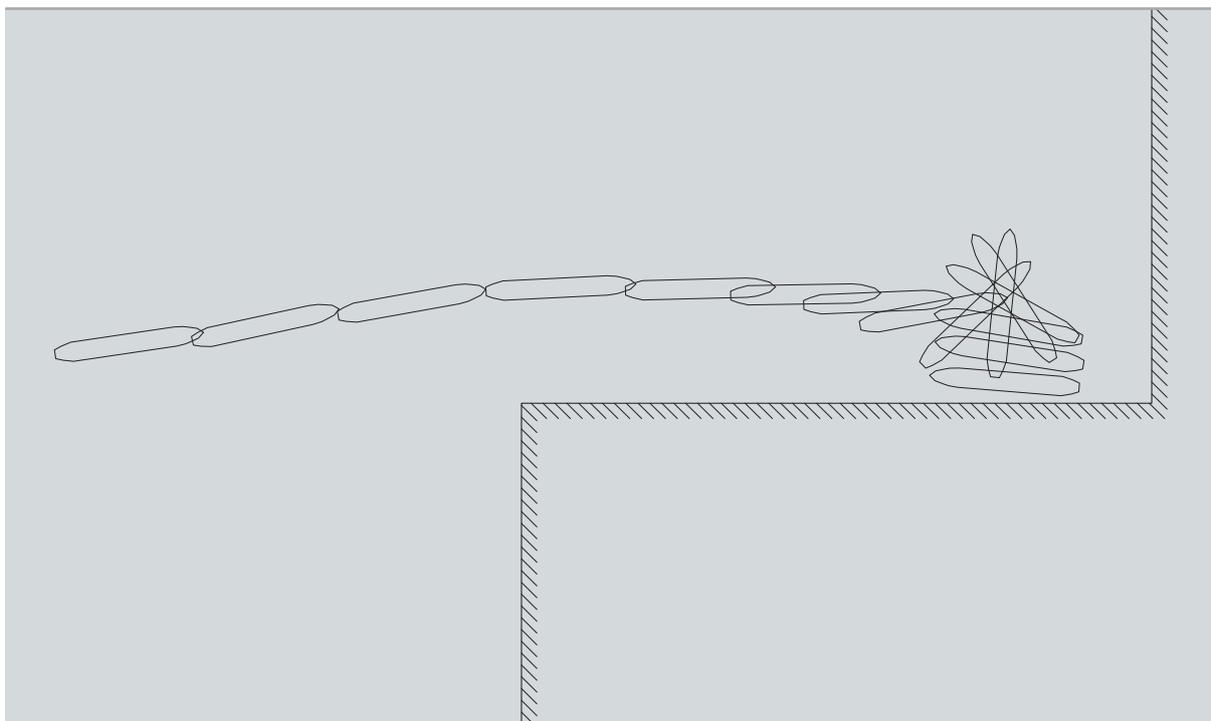
Los modelos numéricos más utilizados que permiten la obtención de la energía cinética desarrollada por un buque y cedida al sistema de atraque o directamente de las fuerzas de atraque son los modelos de simulación de maniobras de buques.

Existen actualmente disponibles en el mercado modelos fiables de simulación de maniobra que permiten definir la evolución de los movimientos del buque durante la maniobra de atraque,

(68) Simplificadamente, los parámetros geométricos del buque asociados a cada valor del parámetro principal es admisible que se definan a través de valores nominales, siempre que pueda considerarse como población todos los buques existentes en el mercado correspondientes a una tipología. Estos valores pueden obtenerse para cada tipología de buque a partir de los datos incluidos en la tabla 4.6.4.33 de esta Recomendación.

bien simplificada (Modelos 2D) mediante las series temporales de los desplazamientos horizontales y giro en planta (Ver figura 4.6.4.14.), bien de forma más completa mediante las series temporales correspondientes a los 6 grados de libertad que definen las oscilaciones del buque; es decir, los tres desplazamientos: vaivén, deriva y alteada, y los tres giros: cabeceo, balance y guiñada. Muchos de estos modelos suelen también suministrar como resultado la evolución de la dirección y magnitud de las velocidades y aceleraciones del buque en el dominio del tiempo y, por tanto, en el momento del impacto e, incluso las fuerzas de atraque cuando se pueden introducir en el modelo las características de rigidez y comportamiento del sistema de atraque.

Figura 4.6.4.14. Modelos numéricos de simulación de maniobras de buques. Ejemplo de gráfico de resultados de evolución de movimientos en planta



Para que dichos modelos puedan ser considerados fiables a estos efectos deberán integrar en la simulación la mayor parte de los factores que están involucrados en la maniobra de cada tipo de buque: características del buque, sistemas de propulsión y gobierno del buque (hélices transversales, efecto del timón, ...), efecto de los agentes ambientales (oleaje, corrientes, viento considerando su variación espacial y temporal), condiciones de contorno (profundidad, succión de orilla,...), utilización de medios auxiliares (remolcadores, amarras, ...) y factor humano, permitiendo una evaluación mucho más precisa tanto de la dirección y velocidad del buque en el momento del impacto como, en su caso, directamente de las cargas de atraque.

En función de la forma que tiene el modelo de simulación de incorporar la influencia del factor humano en el desarrollo de la maniobra se pueden distinguir dos tipos de modelos generales: los modelos con piloto automático que disponen de un algoritmo para mantener una trayectoria objetivo y que operan en tiempo acelerado, y los modelos en tiempo real en los que interactúa el Capitán o Práctico mediante el control de los parámetros básicos del buque, operando en un puente virtual con instrumentación real y radar sintético y percibiendo el movimiento del buque visto desde el puente en tiempo real sobre una pantalla (Ver ROM 3.1-99).

La utilización de modelos de simulación de maniobra en tiempo real es particularmente recomendable para buques con dispositivos que mejoran las condiciones de maniobrabilidad (p.e. hélices transversales), cuando las condiciones de aproximación del buque al atraque son difíciles o cuando la frecuencia de llegadas de buques al atraque es alta, dado que en estos casos la incidencia del factor humano es muy relevante para la definición de la energía cedida al sistema de atraque.

Estos modelos, para cada tipo y situación de carga de los buques esperables en la instalación, una vez definida una estrategia de aproximación al atraque y los medios auxiliares a utilizar en función de las condiciones climáticas, permiten repetir fácilmente la simulación para diferentes escenarios definidos en función de la variabilidad estadística de cada uno de los parámetros que inciden en la maniobra de atraque, particularmente las condiciones climáticas en que puede realizarse la maniobra de atraque en las distintas condiciones de trabajo y el factor humano. Tras cada simulación se almacena información completa de un gran número de variables que describen el proceso (velocidad de impacto, ángulo de aproximación, punto de contacto e, incluso, directamente las cargas de atraque). Esta información, dependiendo del número de simulaciones que realicemos de cada escenario, permitiría obtener las funciones de probabilidad conjuntas, marginales o condicionadas de cada una de dichas variables correspondientes a cada buque y situación de carga del mismo en las condiciones climáticas asociadas con las condiciones de trabajo que se deban considerar. Muchos modelos comerciales ya disponen de algoritmos que suministran directamente dichas funciones.

b₂₁) Definición de las situaciones a simular en los modelos numéricos

b₂₁₁) Definición de buques

Los buques a considerar serán los pertenecientes a la flota esperable en el atraque definida por el Promotor de la instalación, en las situaciones límite de carga consideradas.

Como mínimo deberán considerarse para cada tipología diferenciada de buque perteneciente a dicha flota (petrolero, gasero, granelero, portacontenedores,...), los buques de mayor y menor desplazamiento a plena carga incluidos en la misma, en las situaciones límite de carga consideradas. Si el Promotor no define expresamente las condiciones límite de carga se considerarán los buques tanto en situación de plena carga como en lastre.

Para cada uno de los buques y condiciones de carga a tomar en consideración en la simulación, se definirá la estrategia de aproximación al atraque y los medios auxiliares a utilizar en función de las condiciones climáticas en que tiene lugar la maniobra de atraque en cada una de las condiciones de trabajo que deban tomarse en consideración.

b₂₁₂) Definición de los estados meteorológicos y operativos

- Para condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de maniobras de atraque en condiciones normales

Una vez determinadas, para cada buque, las condiciones límite de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de atraque de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.4.4.3.1.1, los estados meteorológicos a simular para cada buque serán los definidos, para cada una de las variables para las que se han definido límites de operatividad, por:

- Valor umbral de operatividad para la realización de las maniobras de atraque de la variable del agente climático que se adopte como predominante, diferenciado, en su caso, por sectores direccionales de actuación.
- Valores representativos de compatibilidad en el emplazamiento, con el valor y dirección adoptados para la variable predominante, del resto de variables cli-

máticas de actuación simultánea (Ver apartado 4.1.1.1.c y epígrafe b_{121} de este apartado).

Cuando la estrategia de aproximación del buque al atraque y/o los medios auxiliares a utilizar para la maniobra de atraque varían en función de las condiciones climáticas, deberán simularse también estados meteorológicos más favorables que los correspondientes a las condiciones límite de operatividad asociadas con dicha condición de trabajo. En estos casos, los estados meteorológicos adicionales a simular para cada buque serán los definidos por:

- Valor límite más desfavorable de cada una de las variables climáticas en cada una de las condiciones climáticas definidas en la tabla 4.6.4.36 (favorables, moderadas, desfavorables) que sean más favorables que aquella en la se incluya el umbral de operatividad de dicha variable, diferenciado, en su caso por sectores direcciones de actuación, consideradas sucesivamente como predominantes.
 - Valores representativos de compatibilidad en el emplazamiento, con el valor y dirección adoptados para la variable predominantes, del resto de variables climáticas de actuación simultánea.
- *Para condiciones de trabajo extremas y condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario*

En aquellos casos en los que la presentación del parámetro principal del agente climático adoptado como predominante en alguna dirección no sea causa de limitación de las operaciones de atraque de alguno de los buques esperables en el atraque, deberán simularse estados meteorológicos extremos y extraordinarios asociados a dicha parámetro en dicha dirección, considerando únicamente su aplicación a los buques de la flota esperable en el atraque y situaciones de carga de los mismos en los que se produce dicha circunstancia.

Los estados meteorológicos a simular serán como mínimo los correspondientes a los siguientes valores de su parámetro principal:

- Cuantil de la distribución marginal de extremos de dicho parámetro en la dirección considerada correspondiente a un periodo de retorno, T_R , de 50 años (para probabilidades de presentación del modo de fallo analizado en condiciones extremas menor o igual al 5%).
- Cuantil correspondiente a una probabilidad de presentación igual a la probabilidad de fallo considerada para el modo de fallo analizado, tomado de la distribución de extremos marginal de dicho parámetro en la dirección considerada (para probabilidades de presentación del modo de fallo analizado en condiciones extremas mayor al 5%). En el caso de que las probabilidades de presentación asignadas a los diferentes modos de fallo analizados no sean las mismas o que se desee realizar el análisis mediante formulaciones probabilísticas, se simularán estados meteorológicos asociados con varios periodos de retorno del parámetro principal, debiéndose adoptar como mínimo 50, 100, 200 y 300 años.
- Cuantil de la distribución marginal de extremos de dicho parámetro en la dirección considerada correspondiente a un periodo de retorno, T_R , de 500 años.

Para el resto de parámetros del agente predominante, así como de los agentes desfavorables de actuación simultánea, tanto dependientes como independientes del predominante, se adoptarán los valores de compatibilidad establecidos para la condición de trabajo considerada (Ver apartados 4.1.1.1.a. y b_1 , así como epígrafe b_{121} de este apartado, sin superar, en su caso, el límite de operatividad que pudiera estar

establecido individualmente para el correspondiente agente para la realización de las maniobras de atraque.

- b₂₂) Definición de los diferentes factores que inciden en la maniobra de atraque y, en su caso, de las cargas de atraque mediante modelos numéricos

Para que se puedan obtener modelos de probabilidad suficientemente representativos de los distintos factores que inciden en la maniobra de atraque se requiere la realización de un elevado número de simulaciones de cada una de las situaciones. Lógicamente un mayor número de simulaciones aumentará la fiabilidad de los modelos de probabilidad obtenidos, pero debe equilibrarse con los costes de ejecución, los cuales son menores en los modelos con piloto automático que en los modelos en tiempo real. Es recomendable, como mínimo, repetir cada escenario de simulación 8-10 veces si se utilizan modelos en tiempo real y 15-20 veces si se utilizan modelos con piloto automático.

- b₂₂₁) *Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas*

Para la definición de los modelos de probabilidad de cada factor que incide en la maniobra de atraque (velocidad de aproximación, ángulo de aproximación, punto de contacto, ...) o, en su caso, con la carga de atraque, asociados a cada buque y situación de carga del mismo y a la condición de trabajo operativa correspondiente a la realización de las maniobras de atraque, se considerarán conjuntamente todos los resultados de las simulaciones realizadas correspondientes al parámetro analizado que pertenezcan a condiciones climáticas homogéneas, de acuerdo con la definición de las mismas realizadas en la tabla 4.6.4.36, en las que puedan realizarse las maniobras de atraque. El ajuste de estos datos a una función estadística, permitirá obtener la función de distribución del mismo para el buque y situación de carga del mismo considerada, condicionada a unas determinadas condiciones climáticas. Con carácter general y siempre que con los resultados obtenidos no se haya podido identificar una ley de variación más acorde con la variabilidad de los datos en el emplazamiento, se ha observado que estas funciones de distribución se ajustan razonablemente a una función de probabilidad del tipo Weibull de mínimos triparamétrica.

Una vez definidos los modelos de probabilidad de los distintos factores que inciden en la maniobra de atraque asociados con cada buque y situación de carga del mismo perteneciente a la flota esperable en el atraque, el valor característico de la energía cinética cedida al sistema de atraque en esta condición de trabajo podrá obtenerse de acuerdo con la metodología definida para modelos analíticos para los casos en los que haya más de un factor definido con base estadística fiable (Ver epígrafe b₁ de este apartado). En el caso de que los modelos numéricos proporcionen como resultado directamente las cargas de atraque, para cada tipo, característica y situación de carga del buque que utiliza el atraque, se definirá como valor representativo de las cargas de atraque en esta condición de trabajo el valor más desfavorable correspondiente al 95% de probabilidad de no excedencia en las funciones de distribución de dichas cargas, condicionadas a cada una de las condiciones climáticas y operativas en las que puede tener lugar el atraque en condiciones normales operativas. Se adoptará como valor característico de las cargas de atraque el más desfavorable de los valores representativos de entre los correspondientes a cada buque y situación de carga.

En el caso de que deban considerarse condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, para la definición de los modelos de probabilidad de los factores que inciden en la maniobra de atraque o, en su caso, de las cargas de atraque, en cada uno de los estados meteorológicos extremales o excepcional, se tomarán en consideración únicamente los resultados obtenidos de las simulaciones correspondientes al estado meteorológico extremal o excepcional considerado.

Una vez definidos los modelos de probabilidad de los factores, el valor de compatibilidad de la energía cedida al sistema de atraque en condiciones extremas o excepcionales podrá obtenerse de acuerdo con la metodología definida para los modelos analíticos para los casos en los que haya más de un factor definido con base estadística (Ver epígrafe b_1 de este apartado). En el caso de que los modelos numéricos proporcionen como resultado directamente las cargas de atraque, para cada tipo, características y situación de carga del buque que utiliza el atraque, se definirá como valor representativo de las cargas de atraque en esta condición de trabajo el correspondiente al 85% de probabilidad de no excedencia en las funciones de distribución de dichas cargas, condicionada a las condiciones climáticas extremas o excepcionales consideradas. Se adoptará como valor de compatibilidad de las cargas de atraque en estas condiciones de trabajo el más desfavorable de los valores representativos de entre los correspondientes a cada buque y situación de carga para los que la variable que define el estado meteorológico extremo o excepcional considerado no es causa de limitación de las maniobras de atraque.

b_{222}) *Para formulaciones probabilistas*

- *Para condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de maniobras de atraque en condiciones normales*

En el caso de que los modelos numéricos proporcionen como resultado directamente las cargas de atraque y puedan definirse los modelos de probabilidad de las mismas, la función de distribución de las cargas de atraque en condiciones normales operativas correspondiente a la realización de las maniobras de atraque puede definirse como una función derivada de:

- La función de densidad bivariada del parámetro principal y de la tipología de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, así como las funciones de distribución de los distintos parámetros geométricos del buque (eslora, manga, calado estático,...), condicionadas a cada tipología y valor del parámetro principal, para las situaciones límite de carga del mismo ⁽⁶⁹⁾. A falta de otros datos, para cada valor del parámetro principal del buque la situación de carga del mismo puede definirse mediante una función uniforme discreta considerando únicamente como variables “buque a plena carga” y “buque en lastre”.
- Las funciones de distribución de las variables climáticas para condiciones normales operativas, definidas de acuerdo con lo dispuesto en el epígrafe b_{121} de este apartado ⁽⁷⁰⁾.
- La función de distribución de las cargas de atraque correspondientes a cada buque y situación de carga del mismo, condicionada a cada una de las condiciones climáticas en las que puede realizar la maniobra de atraque, definida de acuerdo con lo dispuesto en el epígrafe b_{221} de este apartado.

En el caso de que los modelos numéricos proporcionen como resultado únicamente alguno de los factores que inciden en la maniobra de atraque (velocidad de aproximación, ángulo de aproximación, etc...) y puedan definirse, para cada buque y situación

(69) Simplificadamente, los parámetros geométricos del buque asociadas a cada valor del parámetro principal es admisible que se definan a través de valores nominales, siempre que pueda considerarse como población todos los buques existentes en el mercado correspondientes a una tipología. Estos valores pueden obtenerse para cada tipología de buque a partir de los datos incluidos en la tabla 4.6.4.33 de esta Recomendación.

(70) Para condiciones normales operativas, las condiciones climáticas se definirán por medio de las funciones de distribución anual conjunta (magnitud/dirección) de las variables principales de los agentes climáticos independientes entre sí, así como, para las variables dependientes de las anteriores, por medio de las funciones de distribución conjunta magnitud-dirección, condicionadas a cada valor y, en su caso, dirección, de la variable principal de la que dependen. Dichas funciones de distribución estarán truncadas, en su caso, por el valor umbral límite de operatividad correspondiente al buque considerado definido para la variable en cada dirección para la realización de las maniobras de atraque.

de carga del mismo, las funciones de probabilidad de dichos factores condicionadas a cada una de las condiciones climáticas en que se puede realizar la maniobra de atraque, podrá definirse la función de distribución de la energía cinética cedida al sistema de atraque de igual forma que lo dispuesto al respecto en el epígrafe b_{122} de este apartado para formulaciones probabilistas mediante la utilización de modelos analíticos.

- *Para condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario*

Para condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, la determinación de las funciones de distribución de las cargas de atraque se realizará de igual forma que para condiciones normales operativas correspondientes a la realización de las maniobras de atraque como función derivada de:

- La función de densidad bivariada del parámetro principal y de la tipología de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, así como las funciones de distribución de los distintos parámetros geométricos del buque (eslora, manga, calado estático,...), condicionadas a cada tipología y valor del parámetro principal, para las situaciones límite de carga del mismo. A falta de otros datos, para cada valor del parámetro principal del buque la situación de carga del mismo puede definirse mediante una función uniforme discreta considerando únicamente como variables “buque a plena carga” y “buque en lastre”.
- Las funciones de distribución de las variables climáticas para condiciones extremas, definidas de acuerdo con lo dispuesto en el epígrafe b_{121} de este apartado.
- La función de distribución de las cargas de atraque, correspondientes a cada buque y situación de carga del mismo en los cuales la variable del agente climático que define los estados meteorológicos extremos y excepcionales no es causa de limitación de las maniobras de atraque, condicionada a cada uno de los valores de la variable principal que define la condición extremal o extraordinaria considerada.

En el caso de que los modelos numéricos proporcionen como resultado únicamente alguno de los factores que inciden en la maniobra de atraque (velocidad de aproximación, ángulo de aproximación, etc...) y puedan definirse, para cada buque y situación de carga del mismo, las funciones de probabilidad de dichos factores condicionadas a cada uno de los valores extremos de la variable que define los estados meteorológicos extremos considerado, podrá definirse la función de distribución de la energía cinética cedida al sistema de atraque en estas condiciones de trabajo de igual forma que lo dispuesto al respecto en el epígrafe b_{122} de este apartado para formulaciones probabilistas mediante la utilización de modelos analíticos.

Para definir estas funciones de distribución de las cargas de atraque o, en su caso, de los factores que inciden en la maniobra de atraque, condicionadas a cada uno de los valores extremos de la variable que define los estados meteorológicos extremos considerados es necesario simular un número más elevado de estados meteorológicos extremos que los recomendados en el epígrafe b_{212} . Por dichas razones, salvo para flotas esperables en el atraque de carácter muy homogéneo, no suele ser asumible la obtención de estas funciones mediante modelos numéricos a causa de su alto coste.

c) **Modelos experimentales**

Aunque también podrían utilizarse prototipos a escala real, los modelos experimentales que normalmente se consideran a estos efectos son los modelos físicos en modelo reducido.

Los modelos físicos en modelo reducido con escalas usualmente del orden de 1:20 a 1:50 se utilizan para la predicción de las maniobras de los buques y, por tanto, para determinar los movimientos de los mismos durante la aproximación al atraque en las diferentes condiciones climáticas y operativas. Dichos modelos, al igual que los modelos numéricos equivalentes, permiten definir los parámetros fundamentales (magnitud y dirección de la velocidad del buque, el ángulo de aproximación al atraque y el punto de impacto,...) necesarios para una determinación más precisa de la energía cinética cedida al sistema de atraque por medio de las formulaciones analíticas en uso. Normalmente los modelos físicos no pueden proporcionar de forma fiable directamente las cargas de atraque debido a las dificultades de escalar adecuadamente los parámetros de rigidez y comportamiento del sistema de atraque simultáneamente con los correspondientes a los otros factores que inciden en los movimientos del buque.

Las instalaciones actualmente existentes en el mercado con posibilidades de realizar este tipo de ensayos están principalmente asociadas con la industria naval y están dedicadas fundamentalmente a la optimización de las características geométricas y de propulsión de los buques y al análisis de sus condiciones de respuesta y maniobrabilidad en áreas confinadas, así como a la formación de tripulantes y prácticos. Dichos ensayos se realizan en tanques de tamaño y profundidad adecuada y con buques a escala, autopropulsados y tripulados, permitiendo por tanto tomar en consideración la influencia del factor humano en la maniobra. En la actualidad, estos modelos pueden incorporar muchos de los factores que afectan a la maniobra de atraque como los efectos de vientos, corrientes y oscilaciones del mar, la utilización de remolcadores y otros medios auxiliares, los efectos del contorno, ..., por lo que su fiabilidad para predecir la maniobras de aproximación al atraque y, por tanto, su utilización para la determinación de la energía cedida al sistema de atraque puede considerarse elevada.

Se recomienda el uso de modelos experimentales en aquellos casos en los que se supere el rango de validez o la fiabilidad del resto de métodos de cuantificación de la energía de atraque y, particularmente, en el caso de configuraciones y tipologías de atraque no cubiertas o cubiertas con grandes incertidumbres por dichos métodos. No obstante, el amplio desarrollo en los últimos años de los modelos numéricos, potenciado por la evolución tecnológica del equipamiento informático, y en especial de los modelos de simulación de maniobras en tiempo real que incorporan con más amplitud el factor humano, ha hecho que la utilización a estos efectos de los modelos experimentales sea en la actualidad muy reducida en razón de su mayor coste y de la necesidad de mayores tiempos de operación, limitándose su uso a los procesos de verificación y validación de los modelos numéricos, a la determinación de los coeficientes hidrodinámicos del buque necesarios para su introducción en los modelos numéricos y como input de dichos modelos con el objeto de definir previamente u optimizar la estrategia de aproximación al atraque en casos de maniobras especialmente complejas.

Las situaciones a simular en los modelos experimentales correspondientes a cada condición de trabajo serán idénticas a las definidas para modelos numéricos (Ver epígrafe b_{21} de este apartado).

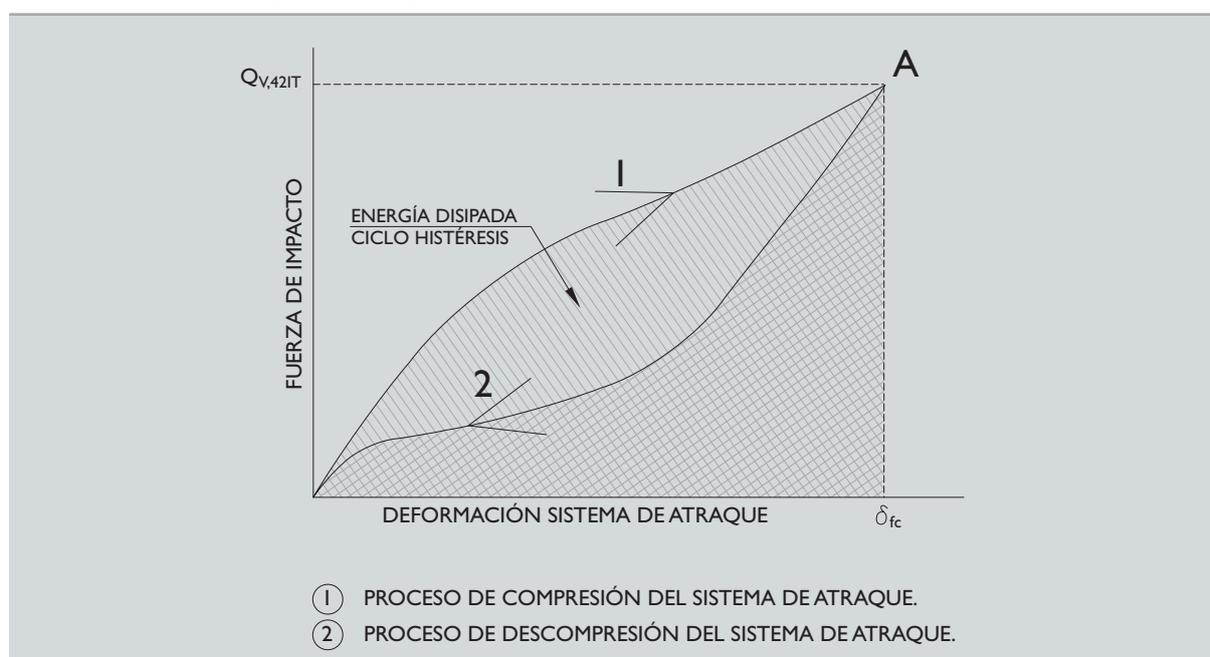
En el caso de aplicación de estos métodos experimentales, la definición de la energía cinética desarrollada por el buque y cedida al sistema de atraque podrá realizarse mediante la aplicación de los modelos matemáticos analíticos descritos en los subapartados anteriores, una vez determinados los modelos de probabilidad de los distintos parámetros que intervienen en la formulación (velocidad de aproximación, ángulo de aproximación,...) a partir de los resultados obtenidos por medio de la repetición de los ensayos en modelo físico de las maniobra de atraque correspondientes a cada una de las situaciones a simular, de forma equivalente a lo señalado para los modelos matemáticos numéricos.

4.6.4.4.3.1.3. Definición de la fuerza de impacto ($Q_{v,42|T}$)

La fuerza de impacto, o reacción perpendicular al frente de atraque, a la que está sometido simultáneamente el sistema de atraque y el casco del buque en cada impacto ($Q_{v,42|T}$) será función de la energía cinética cedida al sistema de atraque (E_f) y de sus características de deformación. Se considerará como sistema de atraque al conjunto formado por la estructura y por el sistema de defensas cuando este último exista.

La energía que es absorbida por el sistema de atraque durante el proceso de compresión asociado a cada impacto del buque es parcialmente devuelta al mismo (el buque es empujado por el sistema de atraque) y parcialmente disipada en forma de calor en el interior del material (ciclo de histéresis). El área comprendida entre las curvas fuerza/desplazamiento correspondiente a los procesos de compresión y descompresión es la energía disipada como resultado del fenómeno de histéresis (Ver figura 4.6.4.15). En general, los ratios entre energía disipada y energía recibida suelen estar en el rango 0,1-0,4, dependiendo de la rigidez del sistema de atraque. A partir del primer impacto la energía residual del buque se absorbe por el propio movimiento del buque, por el trabajo de las líneas de amarre que pudieran estar ya conectadas, por la acción, en su caso de los remolcadores, así como por los ciclos de histéresis asociados con los sucesivos impactos del buque con el sistema de atraque hasta alcanzarse la posición correspondiente a buque atracado. En las condiciones de explotación de la instalación de atraque deberán introducirse criterios de buena práctica para la realización de las maniobras de atraque que eviten que el 2º impacto y sucesivos puedan ser mayores que el impacto inicial.

Figura 4.6.4.15. Curvas de comportamiento del sistema de atraque durante el ciclo de histéresis asociado a cada impacto del buque



Una vez que la máxima energía cinética desarrollada por los buques y cedida al sistema de atraque asociada al impacto inicial ha sido definida a través de sus valores representativos o de sus modelos de probabilidad de acuerdo con los procedimientos establecidos en el apartado 4.6.4.4.3.1.2, los valores representativos de las fuerzas de impacto y, en su caso, sus funciones de probabilidad a considerar podrán derivarse de los mismos por medio de los valores representativos o nominales de las curvas de comportamiento o curvas fuerza/desplazamiento horizontal de la estructura y de la defensa (Curvas $Q_{v,42IT}/\delta_{fc}$) ⁽⁷¹⁾, considerando que la energía cinética total cedida al sistema de atraque deberá ser absorbida conjuntamente por la defensa y por la estructura resis-

(71) Los fabricantes de defensas suministran también adicionalmente como curvas de comportamiento las que relacionan energía absorbida/desplazamiento horizontal. En estos casos, la fuerza de impacto asociada a la energía cedida se puede definir directamente a partir de dichas curvas, obteniendo primero la deformación asociada a la energía cedida en la curva correspondiente para, con dicho valor de la deformación, obtener posteriormente la reacción asociada a la misma en la curva fuerza/desplazamiento (Ver figura 4.6.4.17.).

tente. La fuerza de impacto a considerar podrá tomarse como aquella para la cual la suma de las energías absorbidas aisladamente por la defensa y por la estructura de atraque correspondientes a dicha reacción es igual a la energía cinética total cedida. Esta hipótesis implica considerar que la máxima deformación horizontal de la defensa tiene lugar al mismo tiempo que la máxima deformación horizontal de la estructura. En los casos en los que la estructura de atraque sea mucho más rígida que las defensas, podrá considerarse simplíficadamente que el sistema de defensas absorbe toda la energía cinética cedida y que la estructura de atraque soporta las cargas generadas en las defensas.

La energía absorbida individualmente tanto por la defensa como, en su caso, por la estructura de atraque podrá obtenerse como el área comprendida entre la correspondiente curva reacción/deformación horizontal de cada uno de dichos elementos que conforman el sistema de atraque y el eje de abcisas desde deformación cero hasta la deformación de la defensa y de la estructura, respectivamente, asociadas al valor de la fuerza de impacto, siendo el eje de abcisas el de las deformaciones (Ver figura 4.6.4.16.A). Bajo estas hipótesis, el reparto de la energía total absorbida entre la estructura de atraque y la defensa se puede obtener mediante un proceso iterativo, hasta que se alcance la fuerza de impacto que de lugar a que la suma de la energía absorbida por cada uno de los elementos que conforman el sistema de atraque para un mismo valor de la fuerza de impacto iguale a la energía total cedida al sistema de atraque ⁽⁷²⁾.

Es decir, la energía cinética absorbida por el sistema de atraque puede expresarse como:

$$E_f = E_{f,defensa} + E_{f,estructura} = Q_{v,42|T} (f_{defensa} \cdot \delta_{fc,defensa} + f_{estructura} \cdot \delta_{fc,estructura}) = Q_{v,42|T} (\varepsilon_{defensa} + \varepsilon_{estructura})$$

Siendo:

$f_{elemento}$: factor que indica el porcentaje de energía absorbida por el elemento del sistema de atraque considerado respecto del producto $Q_{v,42|T} \cdot \delta_{fc,elemento}$

$\varepsilon_{elemento}$: parámetro, con unidades de longitud, que se define como el rendimiento del elemento del sistema de atraque en el punto de su curva de comportamiento correspondiente al valor de la fuerza de impacto. Es decir, en general el rendimiento de un elemento del sistema de defensa en un punto i de su curva de comportamiento es:

$$\varepsilon_i = f_i \cdot \delta_{fc,i} = \frac{E_{f,i}}{Q_{v,42|T,i}}$$

Dicho parámetro, asociado con la curva fuerza/desplazamiento representativa del elemento del sistema de atraque considerado, es un indicador de la eficiencia en la absorción energética del mismo en cada punto de su curva de comportamiento y, por tanto, de la severidad del impacto asociado con cada nivel energético.

Valores altos de f y ε indican altos rendimientos energéticos del elemento del sistema de atraque considerado; es decir, una gran capacidad de absorción de energía por unidad de fuerza de impacto transmitida, dando lugar a menores fuerzas de impacto y, en general, a mayores deformaciones. Por el contrario, valores bajos indican bajos rendimientos energéticos; es decir, una menor capacidad de absorción de energía por unidad de fuerza de impacto transmitida, dando lugar mayores fuerzas de impacto para absorber la misma energía de atraque pero, en general, con menores deformaciones.

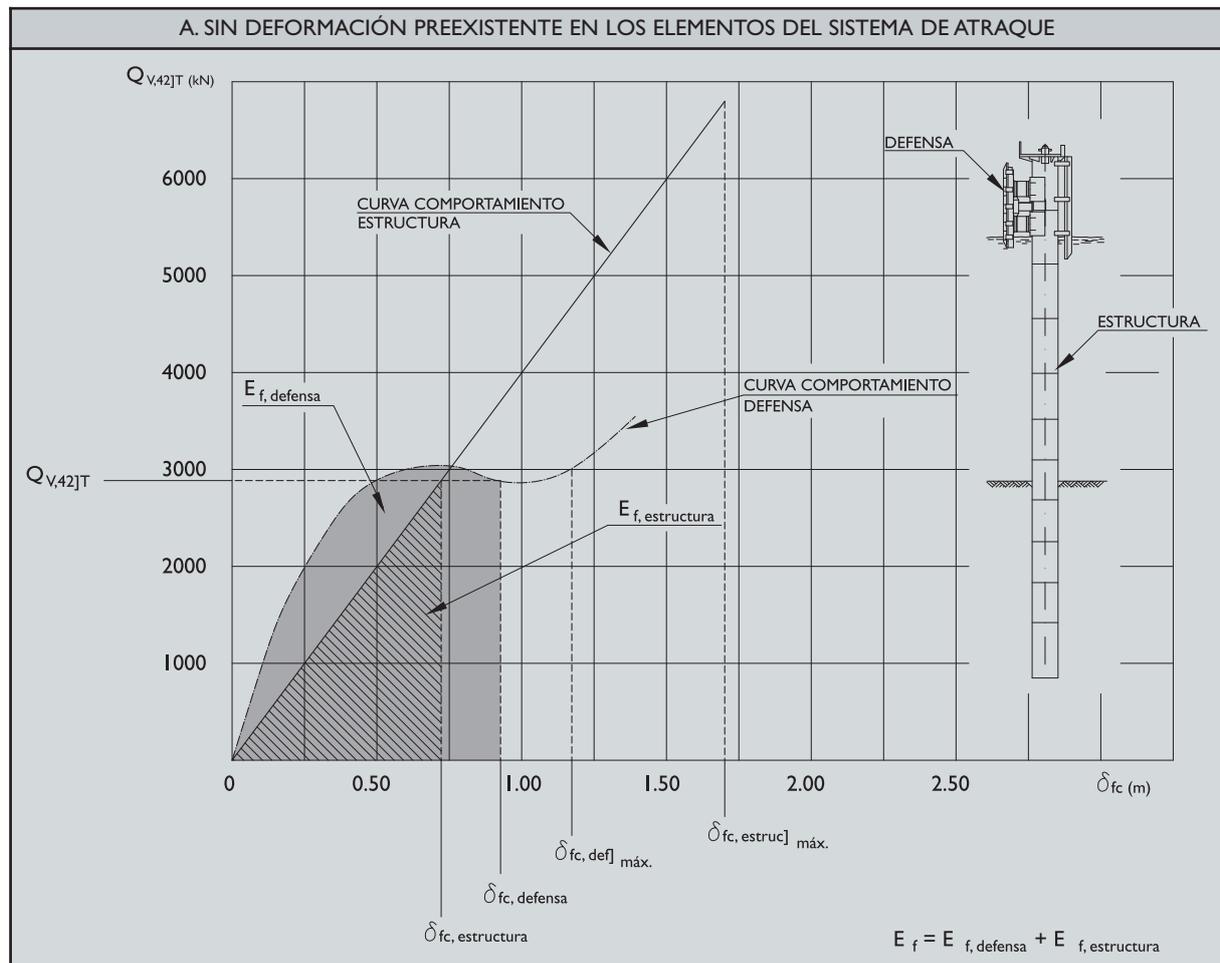
A los efectos de la consideración de los elementos que forman el sistema de atraque, pueden considerarse como valores altos de ε los situados en el rango entre 1,0-0,2 m. Para cada nivel energético, los elementos del sistema de atraque situados en dicho rango se considerarán flexibles. Valores de ε entre 0,2 y 0,03 m pueden considerarse valores intermedios y por debajo de 0,03 m pueden considerarse bajos. En este último caso los ele-

(72) Esta hipótesis de reparto energético es también aplicable a sistemas de defensas dobles o múltiples en serie. Este sistema puede utilizarse en casos en que sea necesario readaptar una obra de atraque existente a la evolución de la demanda, bien hacia buques de mayor desplazamiento bien a un rango mayor de buques, aprovechando el sistema de atraque existente, con el objetivo de mantener las mismas fuerzas de impacto sobre la estructura resistente y las presiones sobre el casco del buque en valores admisibles.

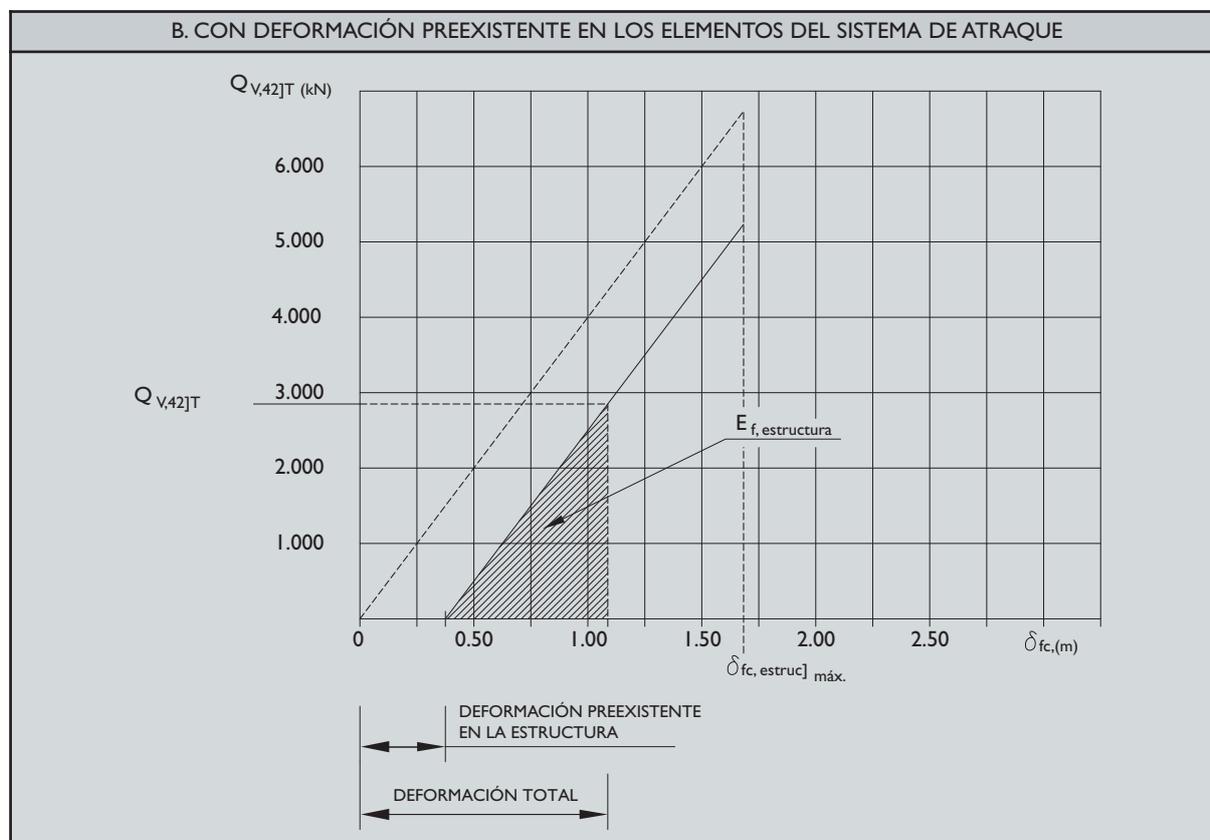
mentos del sistema de atraque se considerarán rígidos. En resumen, los elementos rígidos de los sistemas de atraque son fundamentalmente transmisores de energía y, por tanto, se utilizan cuando se desea principalmente proteger las superficies de contacto, transmitiendo altas fuerzas de impacto; mientras que los flexibles son fundamentalmente absorbedores de la energía y, por tanto, se utilizan principalmente cuando se desea transmitir pequeñas fuerzas de impacto. El grado de flexibilidad o rigidez de los sistemas de defensa también tienen una incidencia significativa en las cargas de amarre, en el comportamiento dinámico del sistema buque/sistema de amarre/sistema de atraque y en los movimientos del buque amarrado (Ver apartado 4.6.4.7.1.1).

Cuando la estructura de atraque tenga una deformación horizontal preexistente en el momento del impacto debido, por ejemplo, a la actuación simultánea de otras cargas sobre dicha estructura (p.e. cargas de amarre) o a la existencia de deformaciones remanentes en la misma producidas por la actuación de cargas repetidas, o cuando el sistema de defensa presente dicho tipo de deformación debido, por ejemplo, a la precarga generada por las cadenas o tensores utilizados para fijar la posición de los escudos, la energía absorbida por cada uno de los elementos del sistema de atraque se obtendrá como el área comprendida entre la correspondiente curva reacción/deformación del elemento considerado, en su caso desplazada horizontalmente el valor del desplazamiento horizontal preexistente o remanente en dicho elemento, y el eje de abscisas desde la deformación, en su caso, preexistente o remanente hasta la deformación total del elemento (Ver figura 4.6.4.16.B).

Figura 4.6.4.16. Metodología para la determinación de la fuerza de impacto a partir de las curvas de comportamiento o de fuerza/desplazamiento horizontal de la defensa y de la estructura de atraque



Metodología para la determinación de la fuerza de impacto a partir de las curvas de comportamiento o de fuerza/desplazamiento horizontal de la defensa y de la estructura de atraque (continuación)



En general, la fuerza de impacto máxima estará determinada en gran medida por el comportamiento de la defensa cuando exista, ya que normalmente ésta se suele seleccionar con una significativa menor rigidez relativa respecto a la estructura de atraque en el nivel energético considerado, por lo que puede admitirse que la mayor parte de la energía es absorbida por la defensa. No obstante lo anterior, en algunos casos (p.e. estructuras de atraque formadas por duques de alba flexibles), se suelen adoptar defensas de similar rigidez que la estructura de atraque con el objeto de compartir entre ambas la capacidad de absorción energética para optimizar económicamente el sistema de atraque, o bien de mayor rigidez que la estructura de atraque en el nivel energético considerado con una función básicamente de protección de las superficies de contacto y, en particular, de reducción de las presiones sobre el casco de los buques. En este último caso puede considerarse que es la estructura de atraque la que absorbe prácticamente la totalidad de la energía cinética de atraque.

a) Valores representativos de las propiedades de los sistemas de atraque: valores característicos de las curvas de comportamiento

Las propiedades de los elementos que forman los sistemas de atraque (defensa y estructura) se definen mediante sus curvas de comportamiento. Las curvas de comportamiento son las funciones que relacionan la fuerza de impacto (o la energía absorbida) por cada uno de los elementos del sistema de atraque en función del desplazamiento horizontal en el punto de impacto. Se definen y caracterizan comúnmente a través de su forma gráfica, debiéndose identificar explícitamente los siguientes valores y zonas (Ver figura 4.6.4.17):

- ◆ Desplazamiento maximal ($\delta_{fc,max}$): Desplazamiento horizontal a partir del cual la deformación deja de ser recuperable. Este valor depende de las características tipológicas, resistentes y de deforma-

bilidad del elemento del sistema de atraque considerado y, en el caso de la estructura de atraque, también del terreno de cimentación. En general, en el caso de las defensas varía entre el 40% y el 60% de las dimensiones horizontales de la defensa. El desplazamiento maximal divide el dominio admisible del dominio último.

- ◆ Desplazamiento último ($\delta_{fc,u}$): Desplazamiento asociado al fallo o agotamiento del elemento del sistema de atraque, bien estructuralmente, bien, en su caso, del terreno de cimentación. Este valor depende de las características del elemento considerado. En general, en el caso de las defensas es menor del 75% de las dimensiones horizontales de la misma cuando el desplazamiento maximal está entre el 40 y el 60%.
- ◆ Fuerza de impacto asociada al desplazamiento maximal ($Q_{v,42|T,max}$)
- ◆ Fuerza de impacto maximal ($Q_{v,42|T,max}$): Fuerza de impacto máxima que puede transmitir el elemento del sistema de atraque en el dominio admisible. Este valor no tiene necesariamente que corresponder con el asociado al desplazamiento maximal.
- ◆ Energía maximal ($E_{f,max}$): Máxima energía que puede absorber el elemento del sistema de atraque en el dominio admisible.

En general, para un mismo tipo de defensas (mismo tipo de curva de comportamiento) los fabricantes suelen utilizar los valores de la fuerza de impacto asociada al desplazamiento maximal y de la energía maximal como identificación de cada una de las defensas (Ver figura 4.6.4.17).

a₁) Curvas de comportamiento de las defensas

a₁₁) En sistemas de defensa formados por una sola unidad

Las curvas de comportamiento de las defensas son suministradas por los fabricantes de las mismas, en general para unidades individuales, en unas condiciones determinadas de velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto, de temperatura, de dirección del impacto, número de ciclos de compresión recibidos y de otros parámetros susceptibles de influir en las curvas de comportamiento. Es común que se adopten como condiciones normalizadas para la definición de las curvas de comportamiento las siguientes:

- compresión uniforme.
- velocidad inicial de compresión de 0,15 m/s, con reducciones no mayores de 0,005 m/s durante el ensayo.
- $23 \pm 5^\circ\text{C}$ de temperatura, durante por lo menos 24 horas antes del ensayo.
- 0° de ángulo de aproximación.
- ciclos de compresión finaliza cuando se alcanzar el desplazamiento maximal.
- pausa de por lo menos una hora después de cada ciclo de compresión.
- curvas de comportamiento elaboradas con los datos registrados durante el tercer ciclo de compresión.

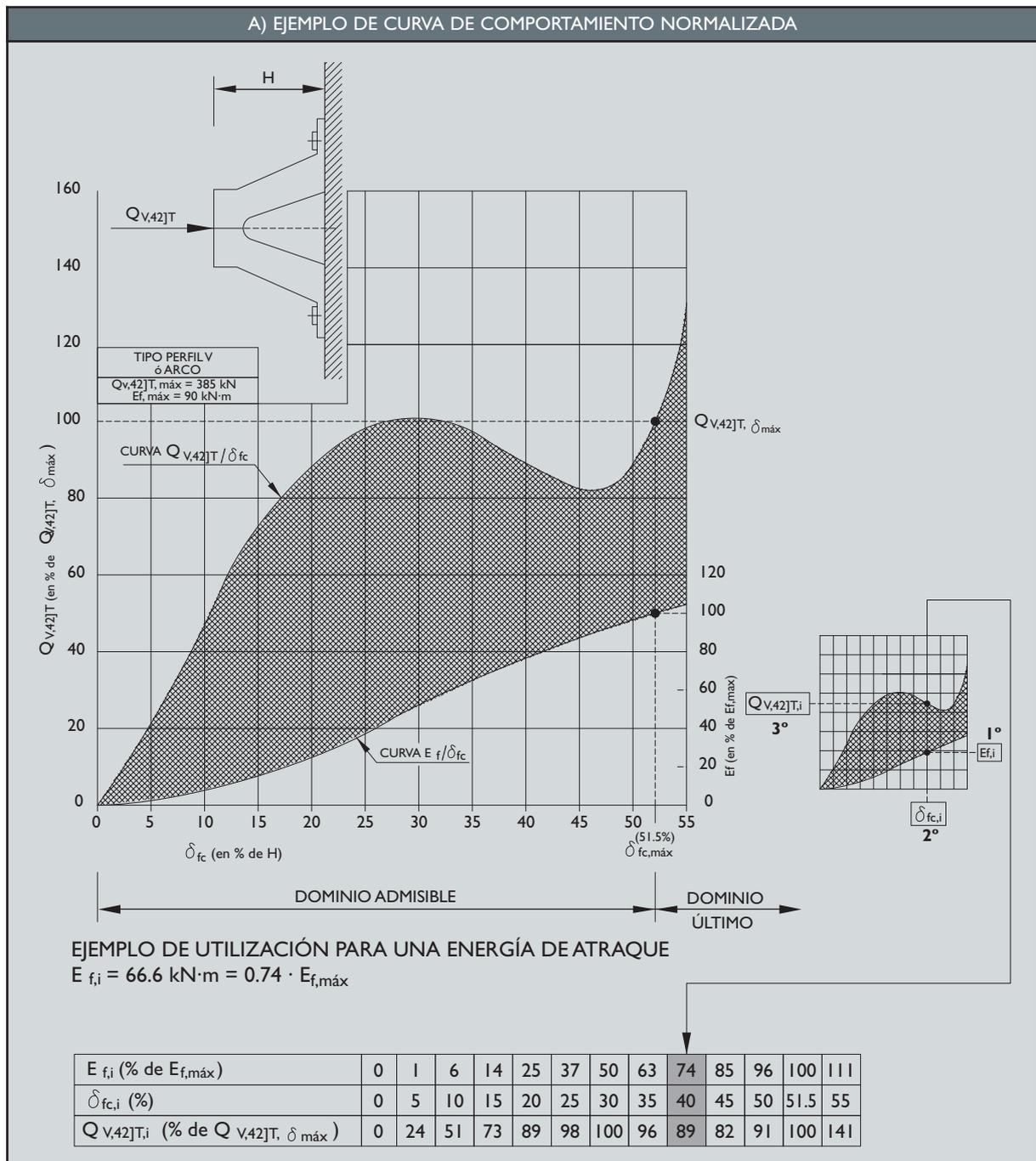
Los fabricantes de las mismas también suministran los factores de corrección asociados a cada defensa que permiten definir la curva de comportamiento cuando se dan otras condiciones distintas a las del ensayo (Ver figura 4.6.4.17). En general, para una misma energía de atraque las bajas temperaturas tienden a rigidizar la defensa, lo cual conlleva un incremento de las fuerzas de impacto. Por el contrario las altas temperaturas tienden a flexibilizarla, reduciendo su capacidad de absorción de energía para una deformación dada. Menores velocidades de compresión dan lugar a menores fuerzas de impacto y mayores compresiones no uniformes ⁽⁷³⁾

(73) Las deformaciones no uniformes de la defensa pueden ser tanto en el plano horizontal como vertical y son debidas a:

- El ángulo oblicuo de aproximación del buque al atraque.
- La forma del casco del buque en planta en el punto de contacto.
- La forma del casco del buque en alzado en el punto de contacto.
- La existencia de una o varias alineaciones de cintones o burletes perimetrales (particularmente en buques ro-ro, ferries, transportadores de coches, cruceros, barcasas y buques auxiliares de pequeño desplazamiento), así como cajas de servicio, en el casco del buque que

reducen la capacidad de absorción de energía para una deformación dada. Para ciclos de compresión crecientes la tendencia es a la reducción de la fuerza de impacto. Con estas correcciones, los fabricantes garantizan, a través de la realización de los correspondientes ensayos, el cumplimiento de las curvas de comportamiento con determinadas tolerancias. Las tolerancias máximas deberán ser suministradas específicamente para cada tipo de defensa por los fabricantes de las mismas. No se considerarán admisibles tolerancias mayores del +10% en la fuerza de impacto y del -10% en la energía absorbida.

Figura 4.6.4.17. Ejemplo de curvas de comportamiento de una defensa en condiciones normalizadas y factores de corrección para otras condiciones



Ejemplo de curvas de comportamiento de una defensa en condiciones normalizadas y factores de corrección para otras condiciones (continuación)

B) FACTORES DE CORRECCIÓN PARA CONDICIONES DIFERENTES A LAS NORMALIZADAS, ASOCIADAS AL TIPO DE DEFENSA CONSIDERADA EN A)					
FACTOR DE COMPRESIÓN NO UNIFORME		FACTOR DE TEMPERATURA		FACTOR DE VELOCIDAD	
Ángulo (°)	$\gamma_{oblicuidad}$	Temperatura (°)	γ_{temp}	t (s)	$\gamma_{velocidad}$
0	1,000	50	0,882	1	1,014
3	0,963	40	0,926	2	1,005
5	0,952	30	0,969	3	1,004
8	0,939	28	1,000	4	1,003
10	0,924	10	1,056	5	1,003
15	0,817	0	1,099	6	1,002
20	0,535	-10	1,143	8	1,000
		-20	1,186	≥ 10	1,000
		-30	1,230	t = tiempo de compresión $t = 2\delta f_{c,i} / V_i$ $\delta f_{c,i}$ = Deformación defensa V_i = Velocidad de impacto del buque	

Las curvas de comportamiento se consideran de validez para el periodo de servicio fijado por el fabricante definido normalmente en términos de número ciclos. Con el paso del tiempo, las defensas sufren un proceso paulatino de envejecimiento, perdiendo sus características elásticas y parte de su material por abrasión con el casco de los buques, debiendo sustituirse cuando finaliza dicho periodo de servicio. En general, los fabricantes garantizan las curvas de comportamiento para un mínimo de 3.000 ciclos.

En cada ciclo de sollicitación (condición de trabajo) en que puedan presentarse cargas de atraque, las propiedades de la defensa definidas a través de las curvas de comportamiento normalizadas, modificadas considerando los factores de corrección asociados con el valor representativo adoptado para la energía de atraque en dicha condición de trabajo (valores representativos de la velo-

pueden dar lugar a que la totalidad de la carga actúe sobre una zona reducida, al doble contacto y a la excentricidad de la fuerza de impacto. La profundidad de los burletes suele estar en el rango entre 200 y 400 mm.

- Impacto excéntrico el contacto entre el casco del buque y el sistema de defensa se realiza en un área reducida y excéntrica de la defensa debido a que el casco del buque no tiene contacto completo con la defensa (puede presentarse particularmente con el nivel inferior de las aguas exteriores en zonas con marea astronómica significativa y buques en situaciones de carga que presenten francobordos reducidos).
- Desalineación del *manifold* en relación con el centro del buque en buques gaseros.

La influencia de la forma del casco en planta debe tomarse en consideración particularmente cuando el punto de contacto considerado esté en las proximidades de la proa o popa del buque.

En general, la influencia de la forma en alzado del casco del buque en el punto de contacto no se considera significativa a estos efectos, dado que la sección del buque en el punto de contacto es prácticamente vertical, independientemente de la posición del punto de contacto en el buque. No obstante, en buques de nueva generación y particularmente en los portacontenedores, transportadores de coches y ro-ro este efecto no debe despreciarse. Por ejemplo, en este tipo de buques se presentan ángulos del casco del buque en alzado en el punto de contacto con la defensa que pueden oscilar entre 10-15° con ángulos de aproximación al atraque de 5° hasta 20-50° con ángulos de aproximación de 10°. Como criterio general, puede aceptarse que los buques con coeficiente de bloque grande presentan menores ángulos del casco en alzado.

Por otra parte, cuando se puedan producir compresiones no uniformes de las defensas será necesario comprobar los recorridos reforzados de las cadenas, pernos y otros elementos de sujeción, ya que se pueden ver sometidos a deformaciones incompatibles con la configuración del sistema de defensas. Es decir, hay que verificar la compatibilidad geométrica del sistema de defensas para adaptarse a la superficie de contacto del casco del buque.

cidad de aproximación, posición del punto de contacto, tanto respecto al casco del buque como al sistema de defensa considerando el nivel superior e inferior de las aguas exteriores, y oblicuidad del impacto asociados a dicho valor representativo) y las tolerancias máximas definidas por el fabricante, podrán considerarse en general para cada tipo de buque y situación de carga del mismo de carácter permanente para el nivel inferior y superior de las aguas exteriores compatible con dicho valor representativo, pudiéndose adoptar simplificada como valores característicos o nominales de la misma, tanto si las ecuaciones de verificación se escriben en formato determinista o semi-probabilista como probabilista. Esto es admisible al estar los procesos de fabricación de las defensas sometidos a procesos de control de calidad rigurosos que limitan enormemente la variabilidad de sus propiedades y a la poca variabilidad de los factores de corrección en cada condición de trabajo, salvo el factor de temperatura al variar las propiedades de las defensas significativamente con la temperatura. Para tener en cuenta esta variabilidad, del lado de la seguridad, el valor característico o nominal de las curvas de comportamiento para la definición de las fuerzas de impacto en condiciones normales operativas correspondientes a la realización de las maniobras de atraque será el asociado a la temperatura correspondiente al cuantil de la probabilidad anual de no excedencia del 5% en la función de distribución de la temperatura mínima del aire a la sombra en el emplazamiento (régimen medios marginales. Ver apartado 4.6.2.3. Agente térmico). En el caso de que deban considerarse condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario se adoptará el valor de la temperatura mínima en el emplazamiento correspondiente a un periodo de retorno de 5 años (régimen extremas marginales. Ver apartado 4.6.2.3) ⁽⁷⁴⁾.

Por tanto, los valores característicos o nominales de la curva del comportamiento de la defensa en el dominio admisible asociados a un determinado buque y situación de carga del mismo en la condición de trabajo considerada se obtendrán a partir de las curvas normalizadas, asignando a cada valor del eje de abscisas (variable deformación de la defensa) en el dominio admisible un valor de la fuerza de impacto (y de la energía absorbida por la defensa), definido por medio de la formulación siguiente (Ver figura 4.6.4.18):

$$Q_{v,42[T]}_{\text{curva característica}} = Q_{v,42[T]}_{\text{curva normalizada}} \cdot \gamma_{\text{velocidad}} \cdot \gamma_{\text{temperatura}} \cdot \gamma_{\text{compresión no uniforme}} \cdot \gamma_{\text{ciclo compresión}}$$

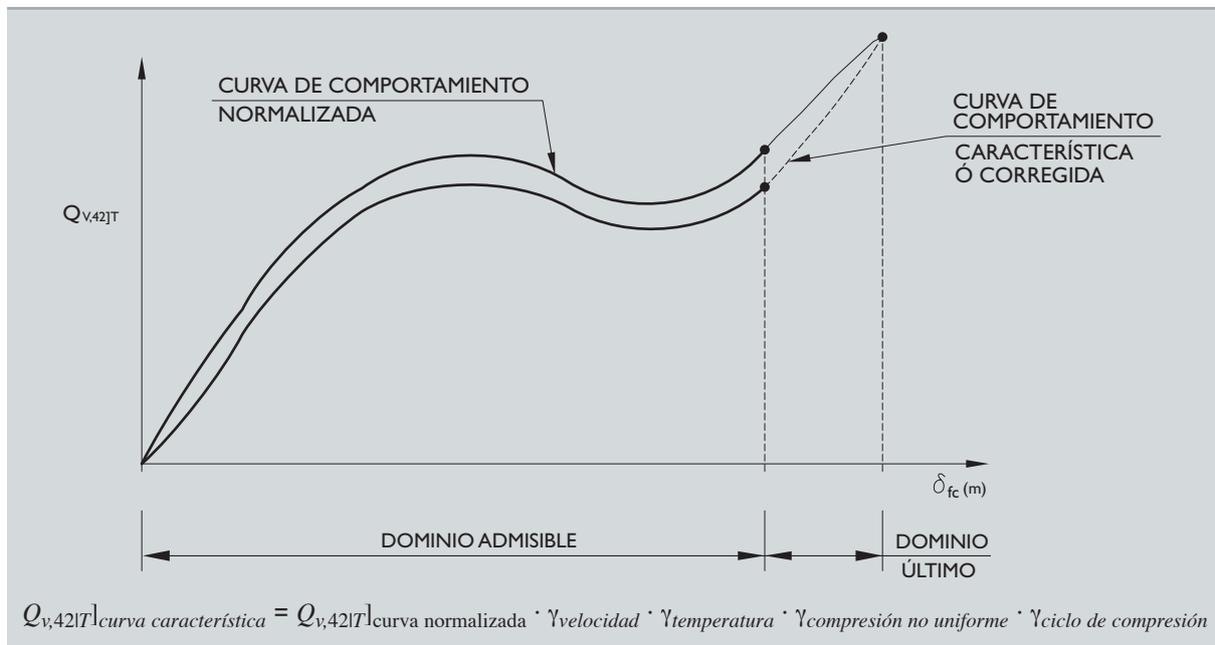
Siendo:

- $Q_{v,42[T]}_{\text{curva normalizada}}$: Es la fuerza de impacto obtenida a partir de la curva de comportamiento normalizada de la defensa.
- $\gamma_{\text{velocidad}}$: Factor de corrección por velocidad de aproximación. Se adoptará el correspondiente al valor representativo adoptado para la velocidad de aproximación del buque asociado al valor representativo de la energía de atraque en la condición de trabajo considerada (Ver apartado 4.6.4.3.1.2).
- $\gamma_{\text{temperatura}}$: Factor de corrección por temperatura. Se adoptará para condiciones normales operativas correspondiente a la realización de las maniobras de atraque el correspondiente a la temperatura mínima en el emplazamiento asociada a un cuantil de la probabilidad anual de no excedencia del 5% en la función de distribución de la temperatura mínima del aire a la sombra en el emplazamiento. Para condiciones extremas se adoptará el correspondiente a un periodo de retorno de 5 años en el régimen extremal de temperaturas mínimas.

(74) En el caso de que se desee considerar de forma más precisa la variabilidad de las propiedades de las defensas debida a la temperatura en formulaciones probabilistas, podrá considerarse para condiciones normales operativas correspondientes a la realización de las maniobras de atraque que éstas pueden definirse considerando que su modelo de probabilidad puede obtenerse como derivado del correspondiente a las temperaturas mínimas anuales en el emplazamiento por medio de los coeficientes correctores que tienen en cuenta este efecto suministrados por el fabricante de la defensa. En el caso de que deban considerarse condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario se utilizarán a estos efectos los regimenes extremas de temperatura mínima.

$\gamma_{\text{compresión no uniforme}}$: Factor de corrección por compresión no uniforme de la defensa. Se adoptará el correspondiente al ángulo compuesto resultante de todas las causas que dan lugar a la compresión no uniforme de la defensa, tomando en consideración los valores representativos de los parámetros geométricos del buque (incluyendo, en su caso, la existencia y dimensiones de cintones), de la posición del punto de impacto con respecto al buque y al sistema de defensa (posibilidad de impacto excéntrico) y del ángulo de aproximación del buque al atraque asociados al valor representativo adoptado para la energía de atraque en la condición de trabajo considerada (Ver apartado 4.6.4.3.1.2), así como los valores representativos de compatibilidad de los niveles superior e inferior de las aguas exteriores en la situación considerada.

Figura 4.6.4.18. Determinación de los valores característicos o nominales de la curva de comportamiento de una defensa a partir de la curva normalizada



En el caso de que el nivel de las aguas exteriores de lugar a diferentes factores de compresión no uniforme, para formulaciones deterministas o determinista-probabilistas se considerarán los asociados con los valores representativos del nivel superior e inferior de las aguas exteriores asociados al valor representativo de la energía cinética adoptada en la condición de trabajo considerada. Para formulaciones probabilistas, en los casos en que la variación de este factor sea significativa, de una forma más precisa la función de distribución del mismo podrá considerarse como una función derivada de las funciones de distribución de los niveles superiores e inferiores de las aguas exteriores en la condición de trabajo.

En el caso que la compresión no uniforme sea debida únicamente a la forma del casco del buque en el punto de contacto y al ángulo de aproximación del mismo al atraque (α), el ángulo de compresión angular compuesto ($\alpha_{\text{compresión no uniforme}}$) puede determinarse mediante la formulación siguiente (Ver figura 4.6.4.19):

- ◆ Punto de impacto en tramo recto (PBL) de casco del buque (p.e. atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante a obras de atraque fijas discontinuas):

$$\alpha_{\text{compresión no uniforme}} = \alpha$$

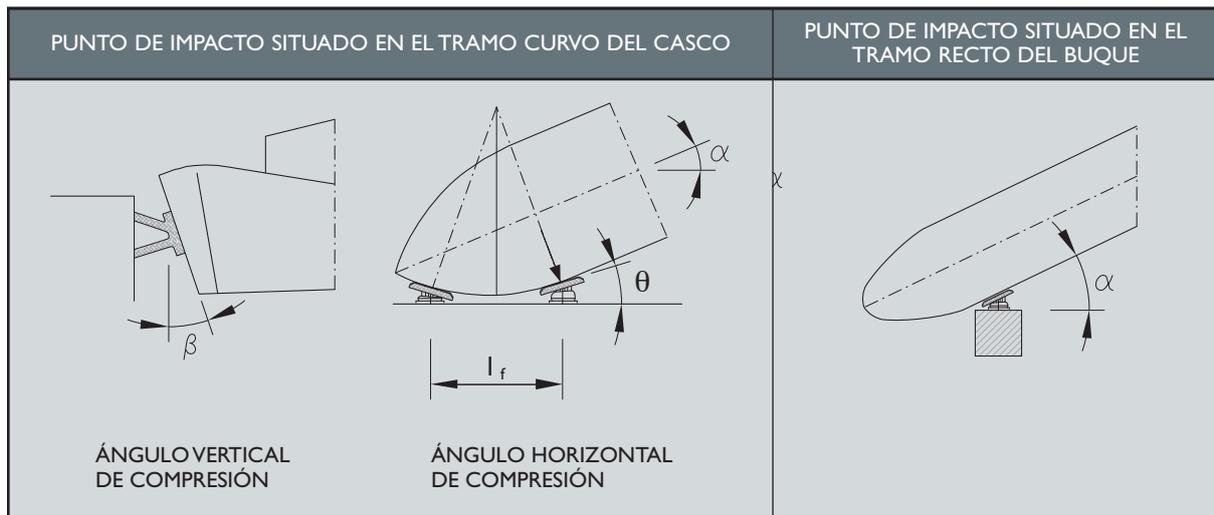
- ◆ Punto de impacto situado en el tramo curvo del casco del buque (p.e. en atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante a obras de atraque fijas continuas):

$$\alpha_{\text{compresión no uniforme}} = \frac{1}{\cos(1 + \tan^2 \theta + \tan^2 \beta)^{-0,5}}$$

Siendo:

- θ : ángulo horizontal de compresión de la defensa. Puede determinarse mediante la expresión $\theta = \arcsen(l_f/2 \cdot R_b)$, siendo:
 l_f : distancia entre defensas.
 R_b : radio de curvatura del buque en planta, en el área en la que se produce el impacto ⁽⁷⁵⁾.
- β : ángulo vertical de compresión de la defensa. Puede adoptarse para este ángulo el que forma con la vertical el casco del buque o el ocasionado, en su caso, por la existencia de cintones, en el área en que se produce el impacto (Ver Nota 23).

Figura 4.6.4.19. Factores que inciden en la compresión no uniforme de la defensa dependientes de la forma del casco del buque en el punto de impacto



*γ*_{ciclo de compresión}

: Factor de corrección por número de ciclo de compresión. Este factor es particularmente relevante cuando la defensa es del tipo rellena de espuma. A falta de otros datos se considerará que la defensa se someterá a un número de ciclos de compresión superior a 3 previamente a su entrada en servicio, ya que considerar un menor número de ciclos para el dimensionamiento puede dar lugar, con ciertos tipos de defensas, a aumentos importantes de las fuerzas de impacto (entre 1,3 y 1,6 veces). En estos casos se recomienda que se adopte un factor de ciclo de compresión igual a 1 del lado de la seguridad. Se

(75) Los radios de curvatura de los cascos de los buques en planta en los puntos de impacto, correspondientes a la flota de buques esperable en el atraque, serán definidos por el Promotor como un parámetro geométrico más asociado a los mismos. A falta de otros datos, el radio de curvatura del casco en planta en la zona de proa puede estimarse a través de la formulación siguiente: $R_b \approx \frac{1}{2}[(B/2) + L^2/8B]$, con R_b , B y L en m, siendo L la eslora total del buque y B su manga.

podrán considerar reducciones de la fuerza de impacto en función del número de ciclos de compresión cuando quede garantizado que la energía cinética considerada se presenta en el atraque después de haberse producido el correspondiente número de ciclos (p.e. readaptación del sistema de atraque existente a un buque de mayor desplazamiento), siempre y cuando no se hayan superado el número máximo de ciclos de validez de la curva de comportamiento normalizada establecidos por el fabricante.

Los valores característicos o nominales de la curva de comportamiento de la defensa en el dominio último se obtendrán simplificada de forma “manual”, prolongando la curva de comportamiento corregida desde el valor correspondiente al desplazamiento maximal hasta hacerla coincidir con la curva de comportamiento normalizada cuando se alcanza la deformación última (Ver figura 4.6.4.18).

Con el objeto de tomar en consideración las tolerancias admisibles, el valor de la fuerza de impacto obtenido por medio de las curvas de comportamiento corregidas correspondiente a cada nivel energético se multiplicará por un factor $(1 + t_f)$, siendo t_f la máxima tolerancia admisible en la fuerza de impacto en tanto por uno suministrada por el fabricante de la defensa. A falta de datos se adoptará 0,1.

a₁₂) En sistemas de defensa múltiples

a₁₂₁) *Sistemas de defensa formados por unidades en serie*

En el caso de sistemas de defensa formados por varias unidades en serie, la curva de comportamiento del conjunto podrá obtenerse considerando que la máxima deformación de cada una de las unidades de defensa tiene lugar al mismo tiempo. Por dicha razón, la curva de comportamiento característica del conjunto se obtendrá asignando a cada fuerza de impacto la suma de las deformaciones correspondientes a cada una de las unidades asociadas a dicha fuerza de impacto, obtenidas por medio de su propia curva individual de comportamiento característica. El dominio admisible del sistema múltiple se definirá por la suma de las deformaciones horizontales obtenidas a partir de la menor fuerza de impacto asociada al desplazamiento máximo de entre las correspondientes a las unidades consideradas individualmente (Ver figura 4.6.4.20.A).

La utilización de sistemas de defensas múltiples formados por unidades en serie con curvas de comportamiento de características muy diferentes puede ser una solución a tomar en consideración en algunos casos en los que un único tipo de defensa no pueda responder por si mismo a todos y cada uno los requisitos exigidos al sistema de atraque para todos los buques y situaciones de carga de los mismos pertenecientes a la flota esperable en el atraque (Ver apartado b), permitiendo de esa forma aprovechar los aspectos favorables y reducir los desfavorables que cada uno de los tipos de defensa presentan individualmente. En general, con estos sistemas de defensa se pueden obtener mayores capacidades de absorción de energía con menores cargas de impacto.

a₁₂₂) *Sistemas de defensa formados por unidades en paralelo*

En el caso de defensas formadas por varias unidades en paralelo, posicionadas bien paralelamente a la línea de atraque o bien verticalmente, solidarizadas mediante paneles o escudos frontales, la curva de comportamiento característica del conjunto para compresión uniforme se obtendrá asociando a cada deformación la suma de las reacciones que se producen en cada una de las unidades para dicha deformación, obtenidas por medio de sus propias curvas individuales de comportamiento características (Ver figura 4.6.4.20.B). En estos casos, en general se utilizan defensas de igual tipo y características, por lo que la curva

de comportamiento del conjunto se obtendrá asignando a cada deformación horizontal la reacción correspondiente a la misma en una defensa multiplicada por el número de unidades que la forman. Por tanto, el dominio admisible de este sistema múltiple quedará definido por el desplazamiento maximal de las unidades consideradas individualmente.

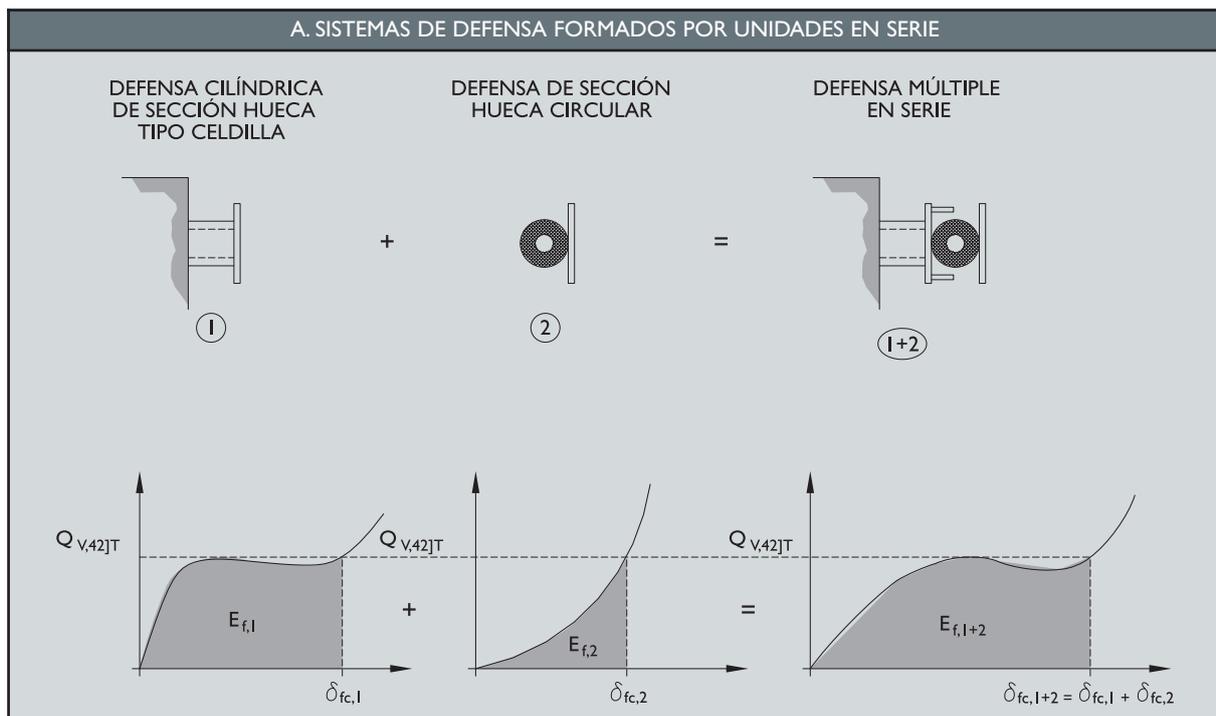
Si la compresión del sistema de defensas no es uniforme, bien horizontalmente y/o bien verticalmente, la curva de comportamiento característica se definirá como la relación entre la fuerza de impacto global y la deformación horizontal medida en el centro del sistema de defensas. Para su obtención, la fuerza correspondiente a cada deformación horizontal medida en el centro del sistema de defensas se obtendrá de forma equivalente, sumando las reacciones que se producen en cada unidad obtenidas de su curva característica, considerando la deformación horizontal que se produce en cada una de ellas compatible con la deformación horizontal medida en el centro del sistema de defensas para la compresión no uniforme considerada. (Ver figura 4.6.4.20.C).

Este tipo de sistemas múltiples suelen ser una buena solución cuando se necesita aumentar la capacidad de absorción de energía de un tipo de defensas con niveles de deformación reducidos o cuando se necesita poner grandes escudos para dar cumplimiento a los requisitos exigidos al sistema de atraque para todos los buques esperables en el atraque en todas las condiciones climáticas adoptadas como operativas (presiones sobre el casco, desniveles de marea, ... Ver apartado b).

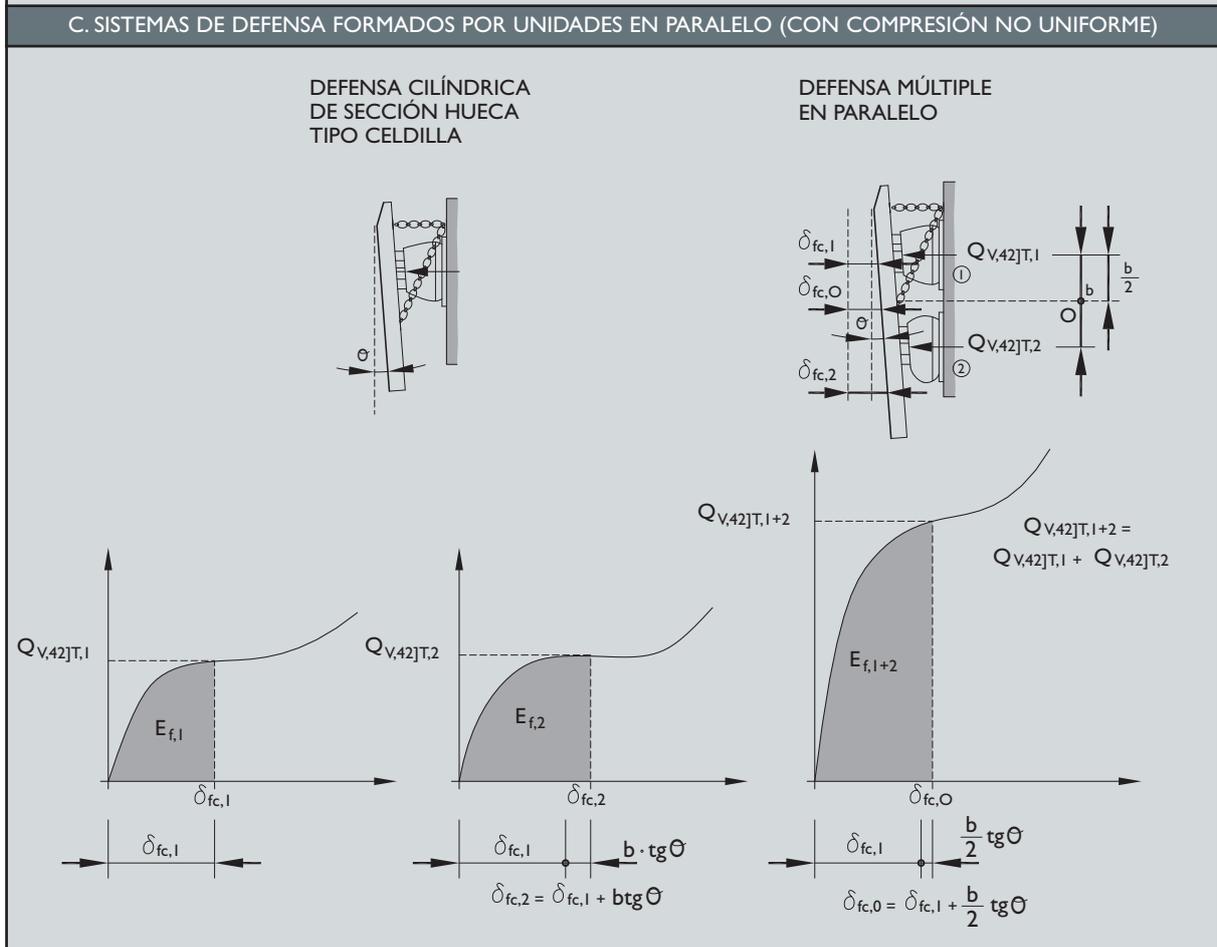
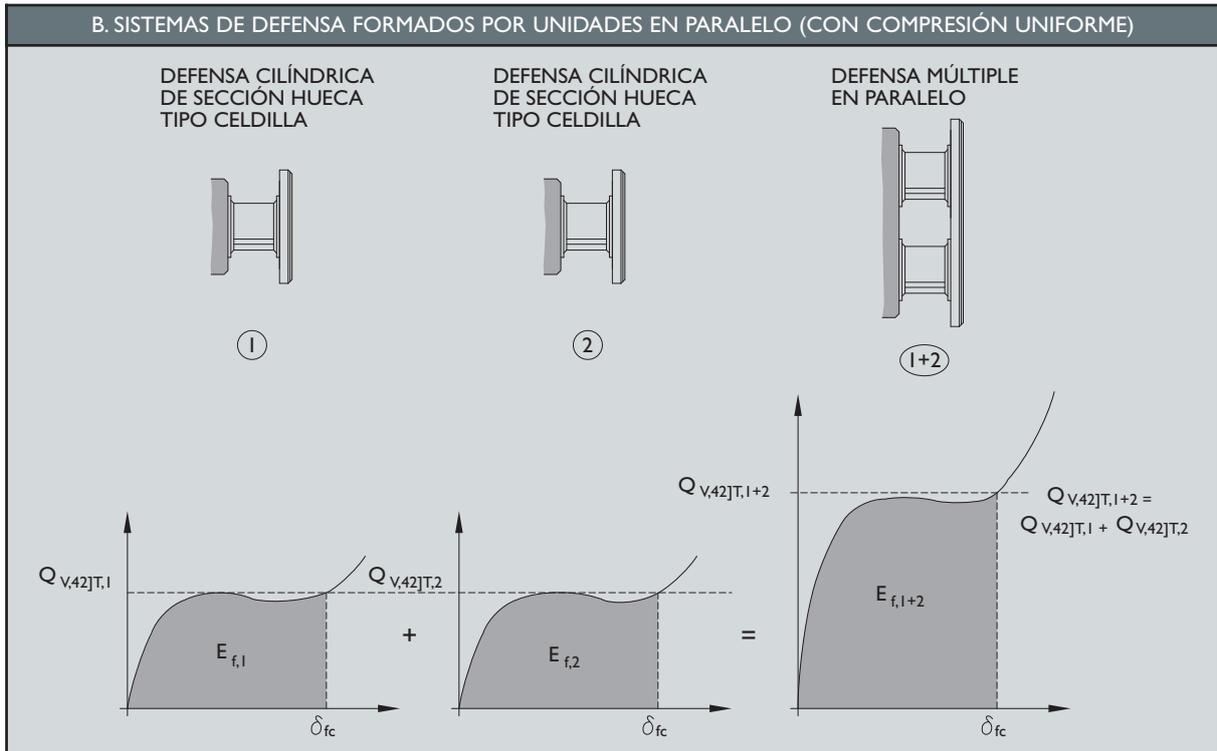
a₁₃) En sistemas de defensas continuas

En el caso de defensas continuas, generalmente las curvas de comportamiento se definen por metro lineal de defensa. Para obtener la capacidad total de absorción de energía y la fuerza de impacto asociada a cada deformación se considerará la longitud de contacto buque/defensa. Para la definición de longitudes de contacto, ver el epígrafe b de este apartado.

Figura 4.6.4.20. Curvas de comportamiento de sistemas de defensa múltiples



Curvas de comportamiento de sistemas de defensa múltiples (continuación)



a₁₄) Tipos de curvas de comportamiento de las defensas

Están disponibles comercialmente defensas, tanto fijas como flotantes, con diferentes tipos de curvas de comportamiento. Con carácter general, en función de la forma de su curva de comportamiento se pueden distinguir los siguientes tipos:

- Defensas elastoméricas: Son defensas constituidas por piezas de caucho o goma de formas diferentes. En general son fijas, disponiéndose ancladas, apoyadas o colgadas de la estructura resistente. Absorben la energía de atraque mediante su deformación a compresión, cortante o incluso a flexión. Las defensas elastoméricas se subdividen en:
 - *Defensas solicitadas a compresión lateral y flexión* (neumáticos y defensas de sección hueca circular, trapezoidal, cuadrada o en "D"). Este tipo de defensas tiene curvas de comportamiento exponencial con rendimientos decrecientes con las deformaciones y generalmente no absorben grandes cantidades de energía en dicho dominio ($< 1000 \text{ kNm}$). Su capacidad de absorción de energía exige deformaciones importantes de la defensa (Curvas 1, 2 y 3 de la figura 4.6.4.21)
 - *Defensas solicitadas a compresión axial* (defensas cilíndricas o troncocónicas de sección hueca tipo celdilla ⁽⁷⁶⁾, defensas arco y defensas modulares). Este tipo de defensas tiene una curva de comportamiento lineal hasta que se inicia el pandeo lateral de la defensa para, a partir de ese punto, mantener básicamente una misma fuerza de impacto asociada a cada deformación en el dominio admisible. El rendimiento de este tipo de defensa varía sustancialmente a lo largo del dominio admisible. Para pequeñas deformaciones (en la zona que la curva de comportamiento es lineal), la defensa se comporta como rígida, dando lugar a grandes fuerzas de impacto y desarrollando escasa capacidad de absorción energética. Por el contrario para deformaciones más elevadas hasta el desplazamiento maximal, la defensa tiene un alto rendimiento, con mayor capacidad de absorción de energía sin aumentar la fuerza de impacto y sin exigir grandes deformaciones. Este tipo de defensas puede absorber importantes cantidades de energía en el dominio admisible (algunos modelos hasta 7.000 kNm), aunque son muy susceptibles a reducciones significativas de esa capacidad cuando están sometidas a compresiones no uniformes (Curvas 4, 5 y 6 de la figura 4.6.4.21.)
 - *Defensas solicitadas a cortante*. Este tipo de defensas tiene una curva de comportamiento esencialmente lineal. Generalmente absorben muy pequeñas cantidades de energía ($< 30 \text{ kNm}$) en el dominio admisible (Curva 7 de la figura 4.6.4.21.)
- Defensas neumáticas, hidroneumáticas y rellenas de espuma: Son defensas constituidas por recintos de caucho de formas diferentes, rellenos con aire a presión, con agua más aire a presión o con espuma. En general este tipo de defensas se colocan flotantes o colgadas de la estructura resistente, aunque también algunas tipologías admiten su colocación fijas (p.e. bloques neumáticos y ruedas solicitadas diametralmente). Absorben la energía de atraque mediante la compresión del volumen confinado de aire o de espuma que contienen en su interior. Este tipo de defensas se subdividen en:
 - *Defensas neumáticas*. Este tipo de defensas tiene generalmente formas cilíndricas con los extremos abovedados y comprimidos axialmente, rellenas en su interior con aire a presión inicial ajustable según las necesidades de absorción energética. Presiones iniciales del orden de $5-7 \text{ N/cm}^2$ son comunes. Se disponen normalmente flotantes, con el eje de simetría situado horizontal y sujetas a la estructura resistente mediante cadenas que parten de sus extremos, aunque también pueden disponerse como fijas. Los

(76) En España estas defensas se suelen denominar de tipo carrete.

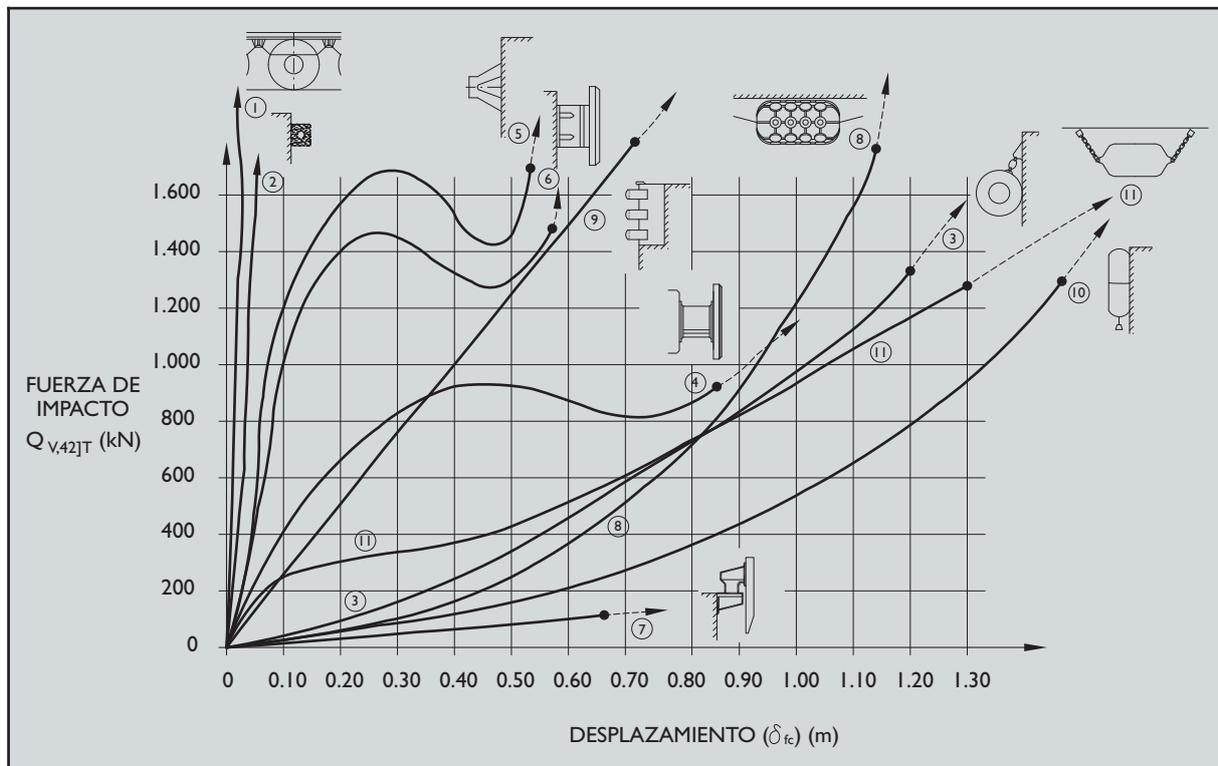
buques las solicitan lateralmente. También están disponibles en el mercado defensas neumáticas específicamente diseñadas para colocarse como fijas, formadas en este caso por bloques de formas paralelepípedicas o cilíndricas cortas solicitadas axialmente, con mayores presiones iniciales de aire (10 N/cm^2). Las curvas de comportamiento de las defensas neumáticas tienen una forma exponencial acusada, con rendimientos decrecientes con las deformaciones, pudiendo alcanzar, las mayores actualmente disponibles en el mercado, grandes capacidades de absorción de energía en dicho dominio ($> 9.000 \text{ kNm}$) aunque necesitando grandes deformaciones para ello (Curva 8 de la figura 4.6.4.21).

- *Defensas giratorias (Ruedas)*. Este tipo de defensas está formado por ruedas de gran diámetro (1-3 m) hinchadas con presiones del orden de $40-60 \text{ N/cm}^2$, colocadas con el eje de giro vertical u horizontal y, por tanto, con capacidad de rotación alrededor del mismo. Las curvas de comportamiento de este tipo de defensas son prácticamente lineales en el dominio admisible, con rendimientos intermedios, aumentando con el diámetro de las ruedas. Las actualmente disponibles en el mercado no absorben grandes cantidades de energía en dicho dominio ($< 1000 \text{ kNm}$). Su capacidad de absorción de energía en el dominio admisible está asociada a deformaciones importantes de la defensa (Curva 9 de la figura 4.6.4.21).
- *Defensas hidroneumáticas*. Este tipo de defensas son similares a las defensas neumáticas cilíndricas, pero parcialmente rellenas con agua (entre 50-65%) y con su eje de simetría en posición vertical. Se disponen flotantes, con un muerto exterior, teniendo el agua y el muerto la función de balasto con el objeto de ajustar el grado de inmersión de la defensa a las características del casco del buque. Son particularmente necesarias cuando la parte sumergida del casco del buque es convexa (p.e. en los submarinos). Las curvas de comportamiento de este tipo de defensa son exponenciales, con rendimientos y capacidad de absorción de energía en el dominio admisible menores que las de tipo neumático de iguales dimensiones, decreciendo con la cantidad de agua de balasto incorporada. La capacidad de absorción de energía de las mayores disponibles en el mercado no suele sobrepasar de 3.500 kNm (Curva 10 de la figura 4.6.4.21).
- *Defensas rellenas de espuma*. Este tipo de defensas tiene formas y disposiciones similares a las defensas neumáticas cilíndricas, si bien su interior está relleno de celdas cerradas de espuma de polietileno. Este tipo de defensas admite su colocación tanto de forma fija como colgada de la estructura resistente o flotante. También hay disponibles en el mercado algunas con formas tóricas, especialmente diseñadas para su utilización como sistema de defensa en duques de alba monopilotos. Las curvas de comportamiento de las defensas rellenas de espuma son ligeramente exponenciales, muy próximas a una recta, y con rendimientos muy elevados y prácticamente uniformes a lo largo de todo el dominio admisible. Tienen, por tanto, una gran capacidad de absorción de energía con relativamente menores fuerzas de impacto que otros tipos de defensa con cualquier deformación en el dominio admisible. A igualdad de energía absorbida, las deformaciones absolutas de la defensa son menores que las correspondientes a una defensa neumática de dimensiones similares. La capacidad de absorción de energía de las mayores disponibles actualmente en el mercado pueden sobrepasar 11.000 kNm . (Curva 11 de la figura 4.6.4.21).

a₂) Curvas de comportamiento de las estructuras

Las curvas de comportamiento de las estructuras se definirán para cada punto de aplicación de la fuerza de impacto en función de las características tipológicas, geométricas, resistentes y de deformabilidad tanto de la estructura y, en su caso, de los sistemas de anclaje, como del terreno de cimentación y de los rellenos que formen parte de la obra de atraque, tomando en consideración el comportamiento conjunto, resultante de la interacción suelo-estructura, bajo la actuación de acciones horizontales.

Figura 4.6.4.21. Curvas de comportamiento asociadas a cada tipo de defensas, para similar capacidad de absorción de energía en el dominio admisible ($E_{f,max} \cong 650 \text{ kNm}^*$)



Notas

*) La curva de comportamiento de la defensa solicitada a cortante (7) está asociada con una capacidad de absorción de energía en el dominio admisible de 30 kNm y no de 650 kNm, al no existir en el mercado defensas de este tipo con tan alta capacidad de absorción de energía.

Leyenda

DEFENSAS SOLICITADAS A COMPRESIÓN LATERAL Y FLEXIÓN

- 1) Defensa de neumáticos.
- 2) Defensa de sección hueca cuadrada.
- 3) Defensa de sección hueca circular.

DEFENSAS SOLICITADAS A COMPRESIÓN AXIAL

- 4) Defensa cilíndrica de sección hueca.
- 5) Defensa arco.
- 6) Defensa modular
- 7) Defensa solicitada a cortante.
- 8) Defensa neumática.
- 9) Defensa giratoria (Ruedas).
- 10) Defensa Hidroneumática.
- 11) Defensa Rellena de Espuma.

Para la determinación de las curvas de comportamiento de estructuras lineales se considerará que la zona de la estructura que debe adoptarse a los efectos de definir la relación entre la fuerza de impacto y la deformación horizontal de la estructura en el punto de aplicación de dicha fuerza es la comprendida entre juntas estructurales o, en su caso, entre el extremo de la estructura y la junta más próxima. No obstante, en aquellas estructuras lineales que puedan considerarse a estos efectos como indefinidas (extremos de la estructura o juntas estructurales suficientemente alejados del punto de aplicación de la fuerza de impacto) podrá adoptarse que la longitud de estructura a considerar es igual a:

$$l_c + 2b$$

Siendo:

- l_c : • longitud de contacto buque/estructura (en sistemas de atraque sin defensas).
 • longitud de contacto buque/defensa (en sistemas de atraque con defensas continuas).
 • longitud de contacto defensa/estructura (en sistemas de atraque con defensas discontinuas)
 Para la definición de las longitudes de contacto, ver el apartado 4.6.4.4.3.2.
- b : dimensión de la estructura en la dirección perpendicular a la línea de atraque.

sin perjuicio de que en estructuras de pequeña anchura se puedan aplicar criterios específicos más favorables en función de su tipología y características estructurales (por ejemplo, en pantallas de tablestacas metálicas suele considerarse cuatro veces la distancia entre anclajes).

La deformación a tomar en consideración en cada caso para la definición de las curvas de comportamiento será la resultante de las debidas al terreno de cimentación y a la propia estructura en el punto de aplicación de la carga de impacto. En los apartados 3.5.7, 3.6.9, 3.7.11.2, 3.10 y Parte 4 de la ROM 0.5-05 se incluyen recomendaciones sobre los procedimientos de estimación de las deformaciones horizontales debidas al terreno en obras, tanto con cimentación superficial como profunda. En los casos en los que la contribución de la estructura en la absorción de la energía de atraque sea significativa, es recomendable realizar pruebas "in situ" de tiro horizontal con el objeto de confirmar las estimaciones realizadas por métodos analíticos y disponer de una estimación más precisa de su deformabilidad (Ver ROM 0.5-05).

En el caso particular de una de las estructuras de atraque flexibles (obras con alta capacidad de absorción energética en el dominio admisible) más comunes, formadas por pilotes aislados o grupos de pilotes (p.e. en configuraciones físicas de obra de atraque tipo duque de alba), en condiciones alejadas de la situación de rotura horizontal del terreno y de la estructura (dominio en el que la deformación es recuperable) es admisible simplificar su curva de comportamiento considerando que la relación entre fuerza de impacto y la deformación horizontal en el punto de impacto es básicamente lineal (Ver figura 4.6.4.22). Es decir:

$$Q_{v,42|T} = k_e \cdot \delta_{fc}$$

En este caso la relación entre la energía absorbida por la estructura y la deformación de la misma en el momento del impacto será:

$$E_{f,estructura} = \frac{1}{2} \cdot Q_{v,42|T} \cdot \delta_{fc|impacto} = \frac{1}{2} \cdot k_e \cdot (\delta_{fc|impacto})^2$$

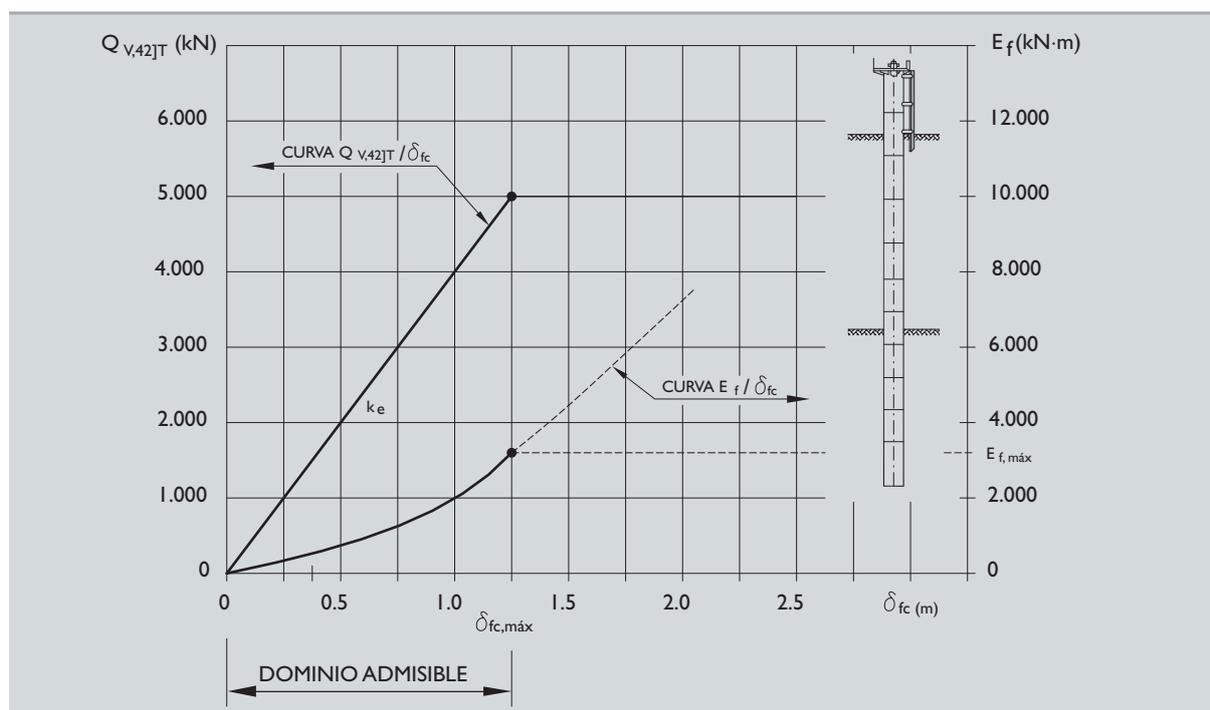
Siendo:

- $\delta_{fc|impacto}$: la deformación horizontal de la estructura en el momento del impacto en el punto de aplicación de la fuerza de impacto.
- k_e : Una constante con unidades fuerza/deformación que cuantifica el grado de rigidez del conjunto suelo-estructura frente a acciones horizontales aplicadas en el punto de impacto considerado (coeficiente de reacción).

Este tipo de estructuras puede llegar a tener una gran capacidad de absorción de energía en el dominio admisible, dependiendo de las características resistentes y de deformación del terreno, de las dimensiones geométricas de la estructura y de las propiedades del material constitutivo de la misma (madera, acero, hormigón pretensado, plásticos reforzados, termoplásticos, ...) (77).

(77) Como orden de magnitud, una estructura monopilote con 18-20 m de longitud no enterrada, cimentada en un suelo limoso de consistencia media, construida con aceros de grano fino S 460 y con sección tubular de 2 m de diámetro exterior y 50 mm de espesor, puede tener una capacidad máxima de absorción de energía en el dominio admisible del orden de 2500 kNm.

Figura 4.6.4.22. Ejemplo de curva de comportamiento característica de una estructura como elemento de un sistema de atraque (Duque de Alba monopilote)



En general, tanto para formulaciones deterministas o semi-probabilistas como probabilistas puede aceptarse simplificada en general que la variabilidad o rango de variación de las curvas de comportamiento de las estructuras como elementos del sistema de atraque no es significativo a los efectos de la determinación de las fuerzas de impacto y, por tanto que estas curvas pueden definirse únicamente a través de dos valores característicos o nominales para cada condición de trabajo o ciclo de sollicitación, asociados con los valores representativos del nivel superior y del nivel inferior de las aguas exteriores en dicha condición de trabajo. Las curvas de comportamiento características se considerarán asociadas con los valores característicos o nominales de los parámetros geométricos, de las propiedades de los materiales y de las propiedades del terreno (78). Dado que las acciones de atraque son acciones impulsivas de duración ($< 0.01 s$) muy corta (Ver figura 4.6.4.6), la determinación de las curvas de comportamiento se realizará para la mayoría de suelos, tanto cohesivos como granulares, considerando las propiedades del terreno en condiciones dinámicas no drenadas. Lo anterior se establece sin perjuicio de la comprobación específica del comportamiento del terreno frente a estas acciones en el caso de suelos granulares limpios en función de las propiedades concretas del suelo en el emplazamiento (Para la consideración de comportamiento drenado o no drenado del suelo frente a la actuación de cargas impulsivas, ver apartados 2.2.7 y 3.10.1 de la ROM 0.5-05). En el caso de que la variabilidad de alguna de las propiedades del terreno en el emplazamiento se considere significativa a estos efectos, podrá considerarse que el modelo de probabilidad de las curvas de comportamiento de la estructura puede obtenerse como derivado del correspondiente a dicha propiedad. De igual forma si los efectos de la variabilidad de las aguas exteriores en las curvas de comportamiento fuera significativo, para la determinación del modelo de probabilidad de las mismas se tomará en consideración las funciones de distribución del nivel superior e inferior de las aguas exteriores.

En cada ciclo de sollicitación y en los estados representativos de los mismos, las propiedades de las estructuras, como elementos del sistema de atraque, definidas a través de las curvas de comportamiento características se considerarán, salvo los casos específicamente indicados, de carácter permanente.

(78) Los criterios para la definición de los valores característicos o nominales de los parámetros geométricos y de las propiedades de los materiales se incluyen, respectivamente, en los apartados 4.2. y 4.4. de esta Recomendación. En el caso de las propiedades del terreno, ver el apartado 4.3. de esta Recomendación y la ROM 0.5-05.

4.6.4.4.3.1.4. Definición de la fuerza de rozamiento ($Q_{v,42|L}$)

La fuerza de rozamiento es la componente tangencial de las acciones de atraque, aplicada en la superficie de contacto entre el casco del buque y el sistema de atraque. Es debida a los movimientos que se producen entre el buque y el sistema de atraque mientras éste se encuentra en situación de deformación, causados por la oblicuidad del impacto y por la geometría del casco del buque y del sistema de atraque en la zona de contacto, conjuntamente con los movimientos del buque durante la maniobra de atraque.

La fuerza de rozamiento se considerará de actuación simultánea con la fuerza de impacto y dependiente de la misma. Su dirección y sentido de actuación pueden ser cualesquiera en el plano de actuación. El plano de actuación vendrá definido por la tipología de sistema de atraque y por los ángulos de compresión horizontal y vertical asociados al escenario de atraque (tipo de buque, posición del punto de contacto, distancia entre defensas y ángulo de aproximación del buque al atraque. Ver epígrafe a₁₁ del apartado 4.6.4.4.3.1.3) que ha dado lugar a la energía de atraque considerada y que se han tomado en consideración para la determinación de la fuerza de impacto (Ver apartado 4.6.4.4.3.1.3). Se adoptará la dirección y sentido más desfavorables para el elemento estructural y el modo de fallo analizados, aunque en general será suficiente considerar que actúa bien en dirección horizontal ($Q_{v,42|LH}$) o bien perpendicularmente ($Q_{v,42|LV}$) a dicha dirección (Ver figura 4.6.4.23). El valor representativo y , en su caso, la función de distribución de la magnitud de esta fuerza se derivará de los correspondientes definidos para la fuerza de impacto por medio de la siguiente formulación:

$$Q_{v,42|L} = \mu_f \cdot Q_{v,42|T}$$

siendo:

μ_f : coeficiente de fricción entre el casco del buque y el sistema de atraque en la zona de contacto. Este parámetro se considerará de carácter permanente en las condiciones de trabajo en las que se consideren cargas de atraque y se definirá a través de un valor nominal, función del tipo de revestimiento del sistema de atraque, tanto si las ecuaciones de verificación se escriben en formato determinista o determinista-probabilista como en el probabilista.

En ausencia de estudios específicos o información más detallada suministrada por los fabricantes de defensas, se adoptarán como valores nominales para el coeficiente de fricción los dados en la tabla 4.6.4.41 en función del material de revestimiento y de la situación que se prevea en la zona de contacto del sistema de atraque con el buque en las condiciones de trabajo consideradas, considerando casco del buque de acero. Dicho material deberá estar asociado o ser coherente con las características definidas para el sistema de atraque y en particular con el sistema de defensas adoptado para la definición de las fuerzas de impacto. Los valores incluidos en la tabla se considerarán asociados con valores medios.

La fuerza de rozamiento inducirá solicitaciones y deformaciones de corte en el sistema de atraque cuya magnitud debe mantenerse dentro de límites aceptables para impedir que, para las distintas posiciones que pueda tomar el área de impacto en el casco del buque, el contacto directo del mismo con la estructura resistente o con el equipamiento localizado en la obra de atraque. Por tanto, entre los criterios para la elección del sistema de atraque también debe tomarse en consideración este aspecto (Ver apartado 4.6.4.4.3.2). Especialmente cuando el sistema de atraque incorpore defensas, el proyectista deberá comprobar o el fabricante deberá garantizar que éstas son capaces de resistir y transmitir a la estructura resistente, con pequeñas deformaciones, los esfuerzos de corte longitudinales y transversales que pueden generarse, conjuntamente, en su caso, con los debidos al peso propio del panel frontal o escudo ⁽⁷⁹⁾. En aquellos casos en los que el sistema de defensas por sí mismo tenga una escasa capacidad de resistir y transmitir esfuerzos cortantes, suelen incorporarse elementos estructu-

(79) Como órdenes indicativos de magnitud, el peso propio de los paneles frontales o escudos suele oscilar entre 2 kN/m² para los escudos menos robustos y más de 4 kN/m² para los más robustos. No obstante, las variaciones pueden ser significativas por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido.

rales auxiliares (cadenas, ...) que, permitiendo la compresión no uniforme de las defensas asociada al escenario de atraque, sean capaces de limitar estas deformaciones y transmitir los esfuerzos de corte a la estructura resistente (Ver figura 4.6.4.23). Las fuerzas de rozamiento suelen ser las predominantes para la verificación de dichos elementos auxiliares.

Figura 4.6.4.23. Definición de la componente de rozamiento de las acciones de atraque a partir de la fuerza de impacto. Transmisión a la estructura resistente a través de elementos auxiliares

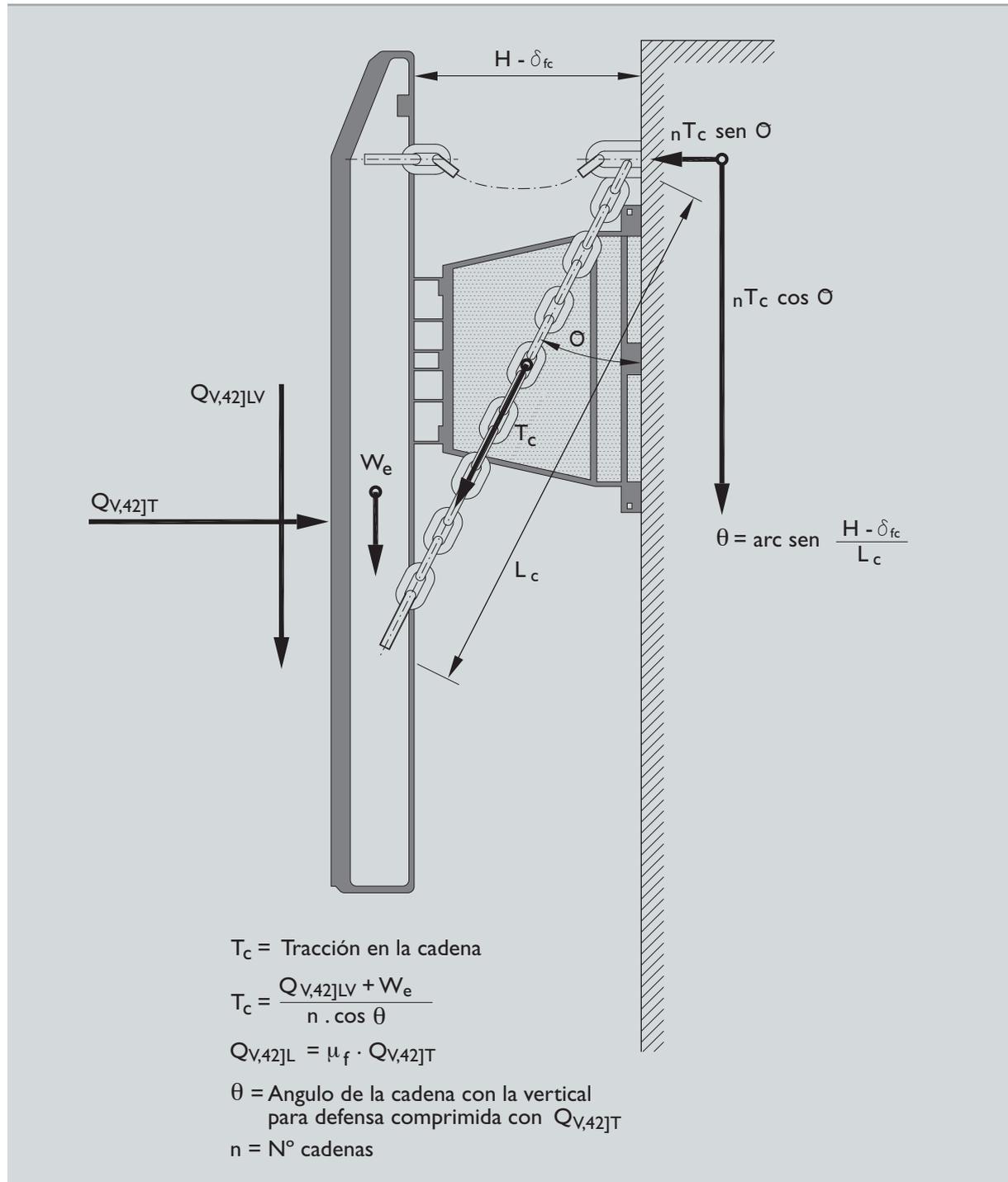


Tabla 4.6.4.41. Valores nominales usuales del coeficiente de fricción entre el casco del buque y su sistema de atraque (μ_f)

MATERIAL DE REVESTIMIENTO SISTEMA DE ATRAQUE	μ_f
Sin revestimiento, metal sobre hormigón (en seco)	0,50
Sin revestimiento, metal sobre metal (en seco)	0,30
Madera (en seco)	0,40
Caucho (en seco)	0,70
Poliuretano (en seco)	0,40
Nylon (en seco)	0,20
Polietileno (HD-PE) de alta densidad (en seco)	0,30
Polietileno (UHMW-PE) con ultra alto peso molecular (en seco)	0,20
Polietileno (UHMW-PE) con ultra alto peso molecular (mojado)	0,15

Notas

- Los coeficientes incluidos en esta tabla se corresponden con valores usuales medios, considerando que se produce el contacto entre superficies regulares; es decir sin cintones o burletes u otros tipo de protuberancias bien en el buque bien en el sistema de atraque. Por tanto, los coeficientes de la tabla no serán aplicables a estos últimos casos, en los que deben adoptarse valores significativamente mayores. El coeficiente de fricción puede variar respecto a los valores medios, entre otras, por las siguientes causas: situación seca o mojada, temperatura, rugosidad superficial y carácter estático o dinámico de la acción. En general, salvo cuando se señala expresamente en la tabla, no se considera relevante esta variación a los efectos de definir la fuerza de rozamiento tanto para el caso de acciones de atraque como de amarre.
- Sin perjuicio de lo anterior, en el caso de que el contacto buque/sistema de atraque se realice por medio de una defensa, es recomendable utilizar el coeficiente de fricción suministrado directamente por el fabricante para el tipo de defensa y, en su caso, para el escudo adoptado, para la situación en que se encuentra en las condiciones de trabajo consideradas.

4.6.4.4.3.2. Criterios para la elección del tipo y características del sistema de atraque

Sin perjuicio de las comprobaciones complementarias a realizar en las condiciones de trabajo en las que se consideren cargas de amarre⁽⁸⁰⁾ (Ver apartado 4.6.4.4.7.) o impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque (Ver apartados 4.6.4.4.4), en las condiciones de trabajo en las que se considere la actuación de cargas de atraque el sistema de atraque deberá cumplir los siguientes requisitos mínimos:

a) Criterios asociados a la condición de no fallo del sistema de atraque

Para formulaciones deterministas o determinista-probabilista, para cada buque y situación de carga del mismo, la parte correspondiente del valor representativo de la energía de atraque en cada condición de trabajo absorbida por cada uno de los elementos que forma parte del sistema de atraque (sistema de defensas + estructura de atraque) no debe exceder la capacidad de absorción de energía de cada uno de estos elementos en el dominio admisible, definida por medio de los valores característicos de sus curvas de comportamiento para dicha condición de trabajo, para el nivel inferior y superior de compatibilidad de las aguas exteriores considerando el estado meteorológico asociado con el valor representativo de la energía de atraque (Ver epígrafe a_1 del apartado 4.6.4.4.3.1.3)⁽⁸¹⁾. Asimismo deberá cumplirse que la parte correspondiente de 2 veces el valor representativo de la energía de atraque en cada condición de trabajo absorbida por cada uno de los elementos que forma parte del sistema de atraque no excede la capacidad de absorción de energía de cada uno de ellos en el dominio último.

(80) En general, las acciones de atraque o las asociadas al impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque son las que gobiernan la selección y características de los diferentes elementos que conforman el sistema de atraque. No obstante, en aquellas instalaciones de atraque en que las condiciones climáticas límite de permanencia de buque en el atraque que se consideren sean muy severas o no se consideren condiciones límite de permanencia del buque en el atraque para algún agente pueden ser las acciones de amarre las que condicionen la selección de los elementos del sistema de atraque.

(81) El nivel de las aguas exteriores puede dar lugar a diferentes compresiones no uniformes, modificando el valor característico de las curvas de comportamiento.

Para formulaciones probabilistas, deberá cumplirse que la probabilidad de que, en cada condición de trabajo, las cargas de atraque en cada uno de dichos elementos excedan el dominio último, definido por medio de los valores característicos de sus curvas de comportamiento asociados a los niveles superiores e inferiores de las aguas exteriores (o en su caso de las funciones de distribución de dichas curvas), es menor de 10^{-4} (criterio incondicional de no fallo para estados límite últimos), así como de que las cargas de atraque excedan el dominio admisible es menor de 0.05 (criterio incondicional de no fallo para estados límite de servicio).

Asimismo deberá verificarse que los elementos que conforman el sistema de atraque no fallan debido a los esfuerzos de corte longitudinales y transversales debidos a la componente de rozamiento de las cargas de atraque (Ver apartado 4.6.4.4.3.1.4).

No obstante lo anterior, cuando se considere la actuación de cargas de atraque en condiciones de trabajo extremas y excepcionales puede admitirse que la defensa puede agotar su capacidad de absorción de energía en dichas condiciones de trabajo, siempre que la estructura resistente cumpla la condiciones de no fallo anteriormente establecidas ⁽⁸²⁾.

b) Criterios asociados a la condición de no fallo de la estructura del buque

Deberá cumplirse que las cargas y presiones de contacto ejercidas sobre el casco del buque deben mantenerse, en niveles que no produzcan daños o deformaciones permanentes en la estructura del buque. Para ello, en el caso de que se consideren formulaciones deterministas o determinista-probabilistas, deberá comprobarse, que, en cada una de las condiciones de trabajo o ciclos de sollicitación en los que se considere la actuación de cargas de atraque, las cargas y presiones asociadas a 1,5 veces el valor representativo de la energía de atraque correspondiente a cada tipo y condición de carga de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, tanto para los niveles superiores como los inferiores de las aguas exteriores, se encuentran en valores admisibles.

Las cargas y presiones de contacto admisibles dependen fundamentalmente del espesor del casco del buque y de la separación entre cuadernas en la zona de contacto y, por tanto, pueden diferir de forma importante en función del tipo y tamaño del buque, del astillero y del año de su construcción. La tendencia actual en la construcción de buques es que las nuevas generaciones admitan progresivamente menores cargas y presiones sobre el casco. A falta de datos concretos sobre las máximas presiones y cargas admisibles sobre el casco de los buques correspondientes a la flota esperable en el atraque, podrán utilizarse con carácter general las incluidas en la tabla 4.6.4.42.

En el caso de que se consideren formulaciones probabilistas, deberá comprobarse de que la probabilidad de que las cargas y presiones de contacto ejercidas sobre el casco de los buques en condiciones normales operativas, tanto para los niveles superiores como inferiores de las aguas exteriores, supere las presiones admisibles es menor de 10^{-4} .

El área de contacto casco del buque/sistema de atraque dependerá de la geometría del casco del buque en la zona de contacto, de la posición relativa del mismo respecto al sistema de atraque en función del nivel superior e inferior de las aguas exteriores y de la oblicuidad del atraque en cada condición de trabajo, así como del tipo y características del sistema de atraque. En el caso de que el contacto se realice a través de defensas neumáticas, hidroneumáticas y rellenas de espuma, los fabricantes suministran directamente las presiones de contacto y, por tanto, indirectamente el área de contacto asociada con cada nivel energético. En el caso de que el contacto se realice a través de defensas elastoméricas aisladas, el área de contacto dependerá de la dimensiones y posición de la defensa o, en su caso, del panel frontal o escudo, así como de la zona o zonas de los mismos que tengan contacto efectivo con el casco del buque

(82) Si la defensa agota su capacidad de absorción de energía, la estructura seguirá absorbiéndola, comportándose a partir de este momento como si la defensa no existiera.

(contacto completo, impacto excéntrico o doble impacto) en cada situación (Ver figura 4.6.4.24). En el caso de que se utilice una defensa elastomérica continua o una estructura sin defensas también continua, a falta de información más precisa se adoptará para el caso de contacto completo que la fuerza de impacto se reparte en un área rectangular cuya dimensión longitudinal coincide con la longitud de con-

Tabla 4.6.4.42. Órdenes de magnitud de los valores máximos admisibles de las presiones sobre el casco de los buques

TIPO DE BUQUE		MÁXIMA PRESIÓN ADMISIBLE (kN/m ²) ¹⁾
Petroleros y transportadores de productos petrolíferos o químicos	SUPERTANKER, ULCC y VLCC	150
	SUEZMAX como AFRAMAX	350
	PANAMAX y PRODUCT CARRIER	300
GASEROS		200
GRANELEROS		200
Mercantes de Carga General	HANDYMAX	400
	SEAWAYMAX	500
Portacontenedores	MALACCAMAX y SUEZMAX	200
	SUPER-POST PANAMAX	250
	PANAMAX	300
	FEEDER	400
TRANSPORTADORES DE COCHES		2)
RO-RO		2)
FERRIES		2) 3)
CRUCEROS		2)

Notas

- 1) Los valores de las máximas presiones admisibles incluidos en esta tabla incluyen los factores de minoración comúnmente utilizados por las Sociedades de Clasificación; es decir, pueden considerarse presiones de cálculo, en terminología de las formulaciones deterministas o semi-probabilistas, asociadas a la condición de no fallo. Pueden considerarse aplicables independientemente de la zona de contacto, con las excepciones que se señalan específicamente.
- 2) Todos los buques, pero particularmente los transportadores de coches, los buques ro-ro, los ferries, los cruceros, los pesqueros, las barcas y algunos buques auxiliares de pequeño desplazamiento pueden estar dotados de una o varias alineaciones de cintones o burletes perimetrales localizados a diferentes alturas del casco del buque. Dichos cintones suelen ser de sección rectangular trapezoidal o circular, sobresaliendo del casco del buque entre 20-40 cm (Ver figura). En estos casos, la comprobación de las presiones de contacto ejercidas sobre el casco del buque por los sistemas de atraque no es relevante siendo, por el contrario, necesario comprobar que las cargas lineales debidas a los cintones son admisibles tanto para el buque como para el sistema de atraque. En mares con marea, los cintones pueden dar lugar a problemas por enganche del mismo en la defensa cuya solución debe preverse en la fase de proyecto. En el caso de defensas cilíndricas con tablero una solución puede ser abiselar el escudo en sus extremos superior e inferior. Las máximas cargas admisibles para burletes suele estar en el rango 1000 -1500 kN/m en buques con casco de acero y entre 150 y 300 kN/m en buques con casco de aluminio. En el caso de que estos tipos de buques no estén dotados de cintones o burletes, se podrá tomar simplificadoamente, del lado de la seguridad, como máxima presión admisible sobre el casco (expresada en kN/m²) aquella que es igual a 10 veces el calado del buque a plena carga (expresado en m).
- 3) Algunos ferris rápidos como los catamaranes, particularmente si tienen el casco de aluminio, no admiten ningún tipo de impactos directos en las zonas inferiores del casco. En estos casos, salvo que dispongan de cintones o burletes especialmente diseñados, deberá asegurarse que la zona de aplicación de las fuerzas de impacto se encuentra en zonas elevadas del casco, independientemente del nivel de las aguas exteriores.

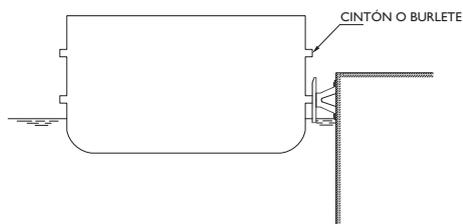
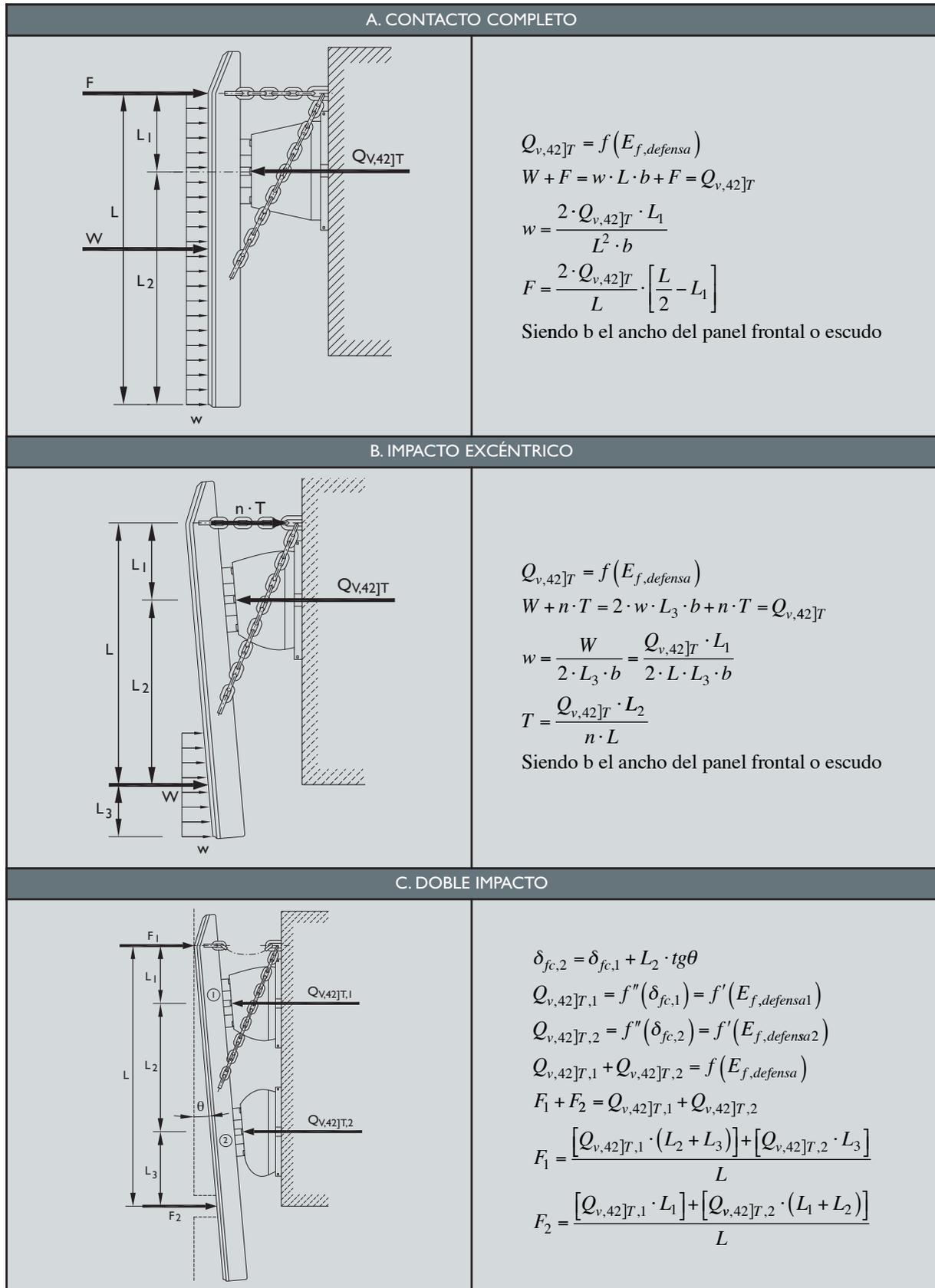


Figura 4.6.4.24. Definición de cargas (F) y presiones de contacto (w) entre el sistema de defensas y el casco del buque en el caso de defensas elastoméricas aisladas



tacto buque-sistema de atraque (l_c) y la transversal con la altura de contacto efectivo de la defensa o estructura con el casco del buque. A falta de otros datos, para estos últimos casos dicha dimensión longitudinal podrá aproximarse a:

- ◆ Cuando el punto de contacto se produce en el tramo recto del casco de los buques:
 - $l_c = 0.25L \leq 6 \text{ m}$ para buques $\leq 10.000 \text{ TPM}$
 - $l_c = 12.5 \text{ m}$ para buques $> 10.000 \text{ TPM}$
- ◆ Cuando el punto de contacto se produce en la parte curva del casco de los buques:
 - $l_c = 2 \cdot R_b \cdot \text{sen}\theta$
siendo:
 - R_b : radio de curvatura del casco del buque en planta en el área en la que se produce el impacto (ver Nota 25).
 - θ : ángulo horizontal de contacto entre el casco del buque y el sistema de atraque. Simplificadamente puede considerarse que este ángulo es prácticamente coincidente con el ángulo de aproximación del buque al atraque (α).

En ningún caso se considerarán áreas de contacto superiores a 5 m^2 .

En cualquier caso deberá verificarse la compatibilidad geométrica y resistente del sistema de defensas para adaptarse a la superficie de contacto con el casco de los buques de la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos, comprobándose que la defensa y sus elementos auxiliares (cadenas, pernos y demás elementos de sujeción), en cada una de las condiciones de trabajo considerando los niveles superior e inferior de las aguas exteriores, no están sometidos a deformaciones y esfuerzos incompatibles con la configuración del sistema de defensas.

c) **Criterios asociados a las deformaciones del sistema de atraque**

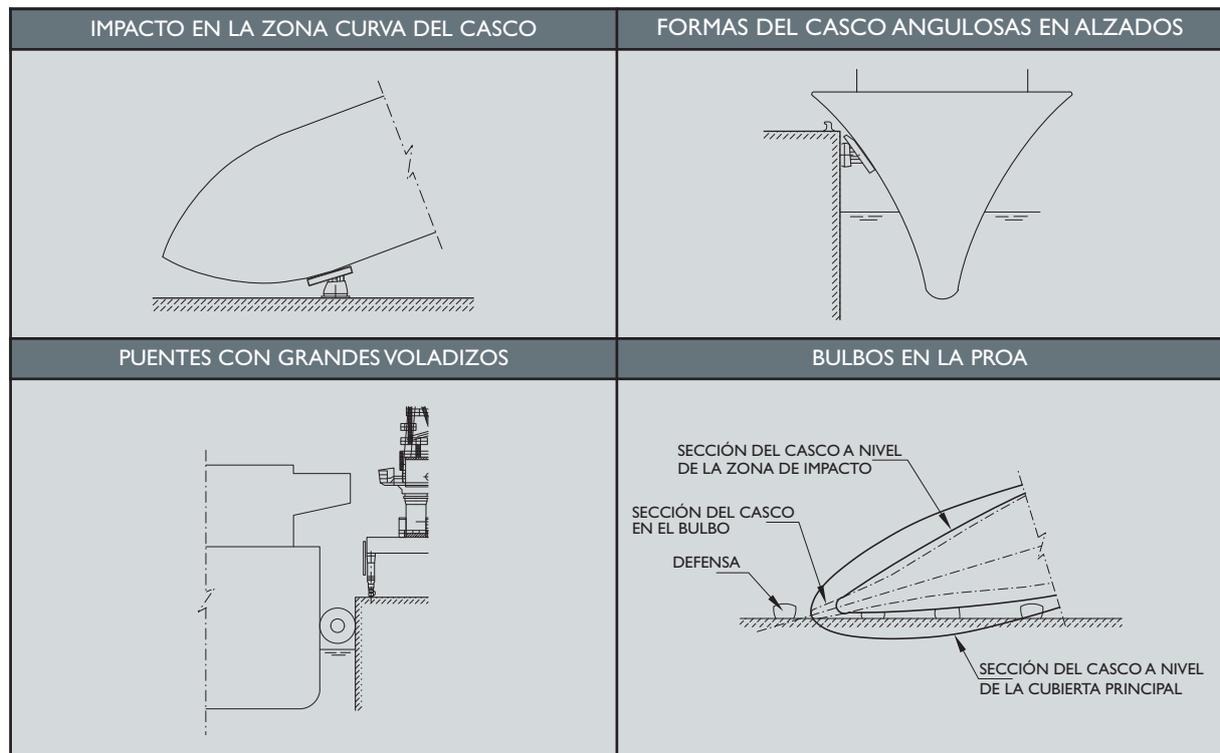
Las deformaciones del sistema de atraque en el momento del impacto, teniendo en cuenta la posibilidad de deformaciones no uniformes del mismo debido a compresiones angulares horizontales y verticales, deben mantenerse en niveles que, para las distintas posiciones que puede tomar el área de impacto en el casco del buque, impidan el contacto directo de otras partes del casco ajenas a dicha área (bulbos, ...) o de la superestructura del buque (puente, ...) con la estructura resistente, con la superestructura o con el equipamiento localizado en la obra de atraque (bolardos, brazos de carga/descarga, grúas, ...), considerando que éste, en su caso, se encuentra en situación de fuera de servicio y configuración replegada.

Estos efectos deben ser particularmente verificados cuando el área de impacto se produce en la parte curva de los buques (en proa o popa) o en aquellos tipos de buques que, independientemente de la localización del área de impacto, tienen cascos con formas en alzado muy angulosas (portacontenedores, ro-ro, transportadores de coches, ferries y cruceros), puentes con grandes voladizos (ro-ro y cruceros) o bulbos en proa (portacontenedores), especialmente cuando el ángulo de aproximación al atraque es elevado (Ver figura 4.6.4.25).

Por otra parte, por razones de control operacional del buque durante la maniobra de atraque, es recomendable que la máxima deformación del sistema de atraque en el momento del impacto, medida perpendicularmente a la línea de atraque y en el centro geométrico del mismo, esté limitada a un máximo de $1,50 \text{ m}$.

Para atraque lateral mediante translación transversal o longitudinal predominante a obras de atraque continuas en los que el área de impacto se produce en las proximidades de la proa o popa del buque, la curvatura del casco en estas zonas o la existencia de bulbos en proa puede hacer necesarias defensas que una vez comprimidas mantengan grandes espacios libres entre el casco del buque y la estructura con el objeto de impedir que pueda producirse el contacto de la estructura con otras partes del casco, particularmente cuando el ángulo de aproximación al atraque es significativo.

Figura 4.6.4.25. Ejemplos de aspectos que condicionan la máxima deformación admisible del sistema de atraque en el momento del impacto



En algunos casos, el tipo de defensas necesario debido a estos efectos es inviable, no está disponible en el mercado, condiciona enormemente las dimensiones de los equipos de manipulación de mercancías y de embarque y desembarque de pasajeros (p.e. necesidad de mayores alcances en las grúas, en las pasarelas de embarque, ...) o es incompatible con las dimensiones de las rampas o portalones de los buques. En lo que depende de la curvatura del casco del buque en planta, estos aspectos pueden resolverse utilizando defensas que mantengan menores espacios libres entre el casco del buque y la estructura de atraque en el momento del impacto que los obtenidos tomando en consideración los aspectos señalados, siempre que, en el caso de defensas continuas, tengan una longitud mínima igual a la longitud de contacto buque/defensa (Ver definiciones de l_c en este subapartado) o, en el caso de defensas aisladas, se dispongan con espaciamientos (l_f) inferiores a (Ver figura 4.6.4.26):

$$l_f \leq 2\sqrt{R_b^2 - (R_b - h + C)^2}$$

siendo:

l_f : distancia entre defensas aisladas.

R_b : radio de curvatura del casco del buque en planta, en el área en la que se produce el impacto (Para la definición de R_b , ver nota 25).

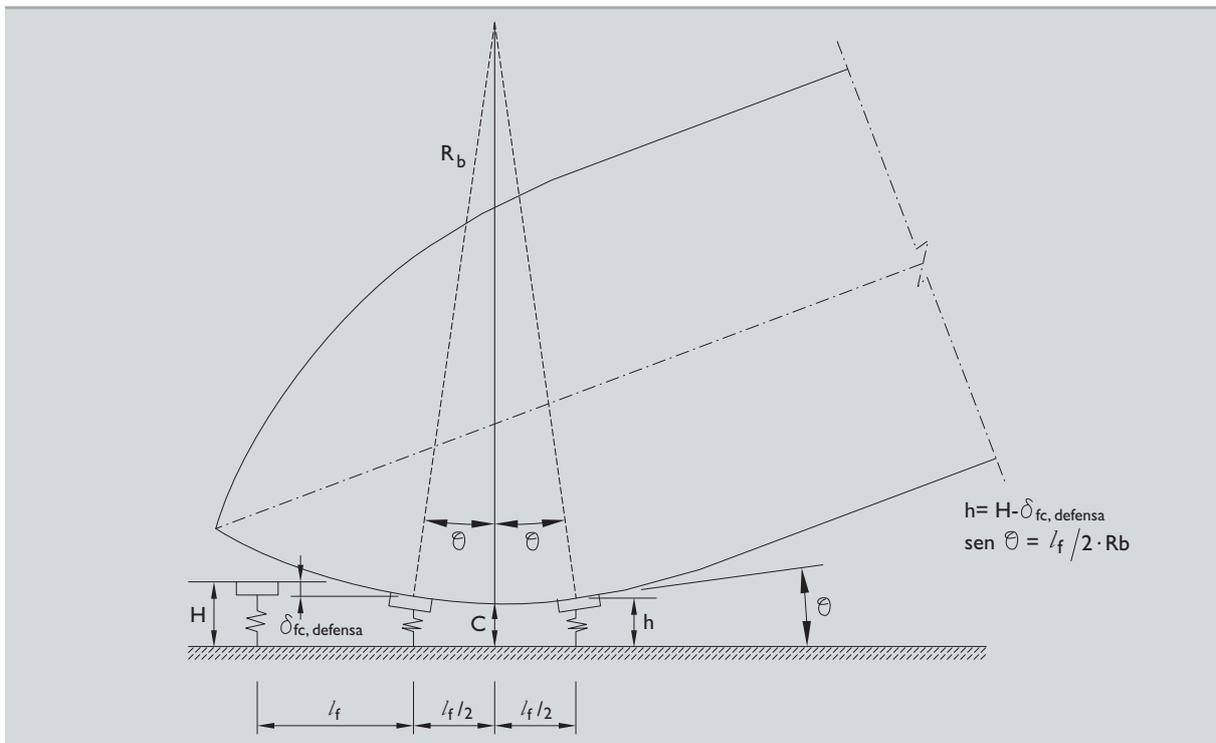
h : espacio libre entre el casco del buque y la estructura de atraque cuando la defensa está comprimida en el momento del impacto, medida en el centro de la defensa y perpendicularmente a la línea de atraque, considerando el valor de la energía de atraque correspondiente al buque y el escenario de atraque (punto de impacto, ángulo de aproximación, ...) asociado con la misma ($h = H \cdot \delta_{fc, \text{defensa}}$)⁽⁸³⁾.

(83) Como puede observarse, para la determinación del espaciamiento máximo entre defensas, h se define considerando del lado de la seguridad que toda la energía de atraque es absorbida por una única defensa.

C : mínima distancia libre admisible entre el casco del buque y la estructura de atraque a la altura del área de contacto en el momento del impacto, medida perpendicularmente a la línea de atraque. Para definir el valor de C deberá tomarse en consideración la sección transversal del buque y la presencia de bulbos de proa con el objeto de garantizar que no se produce contacto buque-estructura. En ausencia de mejor criterio, se recomienda adoptar como mínimo un valor de C igual al 15% de las dimensiones horizontales de la defensa sin comprimir ($0,15H$) y no menor de 0,30 m.

Para buques con eslora igual o superior a 25 m, independientemente del valor de l_f obtenido mediante la formulación anterior asociado con cada tipo de defensa, se recomienda que la distancia entre defensas aisladas en sistemas de atraque continuos no exceda de $0,15-0,17L$, siendo L la menor eslora de los buques de la flota esperable en el atraque, ni de 12-17 m. En el caso de defensas aisladas en sistemas de atraque discontinuos el valor de l_f estará en el rango $0,25-0,40L$, para todos los buques de la flota esperable en el atraque, siendo L la eslora de cada uno de dichos buques.

Figura 4.6.4.26. Definición de parámetros para obtener el espaciamiento máximo entre defensas aisladas en un sistema de atraque continuo por razones de la curvatura del buque en planta en el área de impacto



Cuando se consideren formulaciones deterministas o determinista-probabilista, las anteriores comprobaciones asociadas a las deformaciones del sistema de atraque deberán realizarse para cada tipo, tamaño y condición de carga de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, en todas condiciones de trabajo en las que actúen cargas de atraque, considerando el valor representativo de la energía de atraque correspondiente a cada uno de ellos en dichas condiciones de trabajo (Ver apartado 4.6.4.4.3.1) y el escenario de atraque (punto de impacto, ángulo de aproximación, ...) asociado con la misma, tanto para el valor representativo compatible del nivel superior como inferior de las aguas exteriores que le corresponda.

Cuando se consideren formulaciones probabilistas deberá verificarse que la probabilidad de que se produzca contacto directo del buque con la estructura resistente, la superestructura, o con el equipamien-

to, en cada una de las condiciones de trabajo o ciclos de sollicitación en los que se presenten cargas de atraque, es menor de 0,05 (condición incondicional de no fallo para estados límite de servicio), tanto para los niveles superiores como inferiores de las aguas exteriores.

d) Criterios asociados a la sensibilidad de la estructura resistente frente a la magnitud de las cargas de impacto

Las características del sistema de atraque deben ser adecuadas a la sensibilidad de la estructura resistente con respecto a la magnitud de las fuerzas de impacto transmitidas a la misma. Por tanto, los sistemas de atraque que transmiten menores fuerzas de impacto para la misma energía de atraque son especialmente recomendables para obras de atraque fijas abiertas (obras de pilotes, de pilas, ...) o con configuraciones físicas de tipo mixto o duque de alba, así como para las obras de atraque flotantes, en las que la magnitud de las fuerzas de impacto son especialmente relevantes para su dimensionamiento. Por el contrario, las obras de atraque fijas cerradas, particularmente las de gravedad, son menos sensibles a la magnitud de las fuerzas de impacto, por lo que admiten a estos efectos un mayor rango de opciones en la selección del sistema de atraque.

e) Criterios asociados a la composición y características de la flota de buques esperable en el atraque

Las características del sistema de atraque deben ser adecuadas a la composición y características de la flota de buque esperable en el atraque. En este sentido, cuando la flota de buques esperable en el atraque esté formada por un amplio abanico de buques de tipos y características muy diferentes es preferible seleccionar sistemas de atraque que tengan curvas de comportamiento que se adapten a los requerimientos de capacidad de absorción de energía, a las máximas presiones admisibles sobre el casco y a las limitaciones de deformación del sistema de atraque para todos los buques, de acuerdo con lo señalado en los epígrafes a), b) y c) de este apartado.

En general, los sistemas de atraque con curvas de comportamiento exponenciales o lineales a lo largo de todo su dominio admisible se adaptan mejor a flotas heterogéneas, al tener mayor capacidad de absorción de los distintos niveles energéticos que se presentan, dando lugar a fuerzas de impacto progresivas y significativamente menores que la fuerza máxima asociada a la máxima deformación admisible. A su vez, por su propia naturaleza y características de deformación, algunos de estos sistemas de atraque (p.e. con defensas cilíndricas, neumáticas y rellenas de espuma) presentan simultáneamente grandes superficies de contacto con el casco del buque, independientemente de la forma del mismo, sin necesidad de disponer de escudos o paneles intermedios adaptados a todos los buques de la flota, por lo que conjuntamente con el menor valor de las fuerzas de impacto suelen dar lugar a reducidas presiones de contacto que se adaptan bien a todo tipo de buques.

Por el contrario, en sistemas de atraque también con este tipo de curvas de comportamiento pero en los que la capacidad de absorción de energía se reserva básicamente a la estructura resistente (p.e. duques de alba flexibles), pueden presentarse áreas de contacto muy reducidas cuando es la estructura resistente la que está directamente en contacto con el casco del buque. En estos casos, con el objeto de aumentar las áreas de contacto y reducir, por tanto, las presiones admisibles sobre el buque, es recomendable disponer complementariamente defensas que actúen como elementos protectores de superficies, aunque se utilicen tipologías con reducida capacidad de absorción de energía en el nivel energético resultante.

Los sistemas de atraque con curvas de comportamiento lineal hasta un nivel de deformación, a partir del cual se mantiene constante la fuerza de impacto hasta el desplazamiento maximal (p.e. con defensas elastoméricas solicitadas a compresión axial) son más recomendables particularmente cuando la flota esperable en el atraque sea de características relativamente homogéneas, al no ser relevante en estos casos que el sistema de atraque tenga una alta capacidad de absorción de energía en distintos niveles energéticos.

f) **Criterios asociados al rango de variación de las aguas exteriores**

El sistema de atraque debe cumplir los requisitos establecidos en los epígrafes a), b) y c) de este apartado para todos los buques y condiciones de carga pertenecientes a la flota esperable en el atraque, en cada una de las condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las maniobras de atraque, así como, en su caso, en cada una de las condiciones extremas y excepcionales en las que se considera que pueden realizarse dichas maniobras, tanto para los niveles superiores como inferiores de las aguas exteriores debidos a todas las oscilaciones marinas y fluviales (mareas y regímenes fluviales, ondas largas y oleaje).

Sin perjuicio de las anteriores verificaciones, es recomendable que la altura de las defensas, bien directamente bien a través de paneles frontales o escudos, cubra como mínimo desde el nivel superior de las aguas exteriores hasta 0,5 m por debajo del nivel de la cubierta principal de cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, en las condiciones límite de carga establecidas, considerando el nivel inferior de las aguas exteriores, para los valores representativos de los niveles superior e inferior de las aguas en cada uno de los estados meteorológicos representativos de las condiciones de trabajo consideradas.

En lo que respecta al rango de variación de las aguas exteriores, los sistemas de atraque con defensas flotantes son mucho más adaptables a las características de la flota en todas las condiciones de trabajo utilizando únicamente unidades aisladas, particularmente en los casos en los que el rango de variación de las aguas exteriores es grande y/o las características de la flota no son homogéneos. Especialmente en dichos casos, las defensas fijas son menos adaptables de forma aislada, haciendo necesario en caso de utilizarlas disponer sistemas de defensas formadas por múltiples unidades en paralelo solidarizadas con grandes paneles frontales.

g) **Criterios asociados a la facilidad de instalación y a los costes de suministro, inspección y mantenimiento**

La facilidad de instalación y los costes de suministro, inspección y mantenimiento deberán tomarse en consideración para la selección final del tipo del sistema de defensas de entre los que cumplen los requisitos establecidos en los epígrafes anteriores.

4.6.4.4.3.3. Transmisión de las cargas de atraque a la estructura

Las cargas de atraque se transmiten a la estructura resistente en función de las características del sistema de atraque.

Si el sistema de atraque dispone de sistema de defensas:

- ◆ La fuerza de impacto se distribuirá en el área de contacto defensa/estructura, así como, en su caso, a través de los elementos auxiliares (p.e. cadenas en el plano horizontal) que se establezcan específicamente (Ver Nota 23) para garantizar la estabilidad y funcionalidad de la defensa en el caso de impactos excéntricos (Ver figura 4.6.4.24.B). En el caso de sistemas de defensas continuas es admisible considerar que el área de contacto defensa/estructura tiene como dimensión longitudinal la longitud de contacto buque/defensa definida en el epígrafe b del apartado 4.6.4.4.3.2 y como dimensión transversal la de contacto defensa/estructura.
- ◆ La fuerza de rozamiento se transmitirá a la estructura resistente en función de la disposición y características de los elementos auxiliares (p.e. cadenas en el plano vertical y horizontal) que se establezcan, en su caso, para la transmisión de los esfuerzos de corte (Ver figura 4.6.4.23). En el caso de que el sistema de defensas no disponga de estos elementos, siendo capaz de resistir por si mismo esfuerzos cortantes, podrá considerarse que la fuerza de rozamiento también se aplica en el área de contacto defensa/estructura.

Si el sistema de atraque no dispone de sistema de defensas: tanto la fuerza de impacto como la fuerza de rozamiento se distribuirán en el área de contacto buque/estructura definida de acuerdo con lo dispuesto en el epígrafe *b* del apartado 4.6.4.4.3.2.

4.6.4.4. IMPACTO ACCIDENTAL DEL BUQUE DURANTE LAS OPERACIONES DE ATRAQUE ($q_{v,43}$)

El agente “impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque” está asociado con las cargas generadas entre un buque y una estructura de atraque como resultado de impactos extraordinarios que pueden producirse durante las operaciones de atraque debidos a situaciones accidentales como errores humanos durante la maniobra, fallos de los sistemas del buque o de los medios auxiliares (remolcadores, amarras, ...), cambios bruscos de las condiciones climáticas una vez iniciada la maniobra de atraque u otro tipo de accidentes o incidentes que den lugar a la pérdida o disminución del control de la maniobra y, por tanto, a la alteración repentina e involuntaria de las condiciones más desfavorables establecidas como límite para poder realizar en el emplazamiento las maniobras de atraque en las condiciones consideradas como normales.

Por tanto, a los efectos de esta Recomendación no se considera incluido en este agente la colisión accidental o abordaje de un buque en tránsito o a la deriva contra un obstáculo de la navegación al margen de las operaciones de atraque, debido a que esta situación en general no es necesario que sea contemplada en el proyecto de obras de atraque y amarre ⁽⁸⁴⁾.

(84) La definición de las cargas generadas entre un buque y una estructura de atraque como resultado de impactos accidentales que pueden producirse durante las operaciones de atraque incluida en esta Recomendación no es de aplicación para la definición de las cargas producidas por el choque accidental o abordaje de buques producido por diferentes causas (buque a la deriva, fallos de propulsión o transmisión de un buque en tránsito o en fase de maniobra evolutiva o parada, rotura de amarras de un buque amarrado en otra obra de atraque, ...) contra otras obras de atraque y estructuras existentes en los canales de acceso, zonas de maniobra y demás áreas de flotación (como pilas de puente, entrada de esclusa, ...) sobre las cuales no está previsto el atraque o amarre de buques. Generalmente esta situación accidental no es necesario considerarla para el proyecto de obras de atraque y amarre debido a su baja probabilidad de presentación en las áreas portuarias donde se localizan las obras de atraque debido al alto control con que se realizan las maniobras en dichas áreas y a que suelen estar suficientemente alejadas de las vías de tránsito o de evolución de buques en navegación libre. Por dicha razón no se ha considerado desarrollar la definición de este agente en esta Recomendación de forma exhaustiva. No obstante, lo anterior se establece sin perjuicio de que se deba tomar en consideración esta situación en aquellos casos en los que lo demande expresamente el Promotor de la instalación, así como en aquellos en los que se valore como no despreciable su probabilidad de presentación durante la vida útil (p.e. en obras de atraque situadas en las proximidades de canales de acceso, vías de navegación o zonas de maniobras evolutivas y de parada en las que los buques o algunos de ellos naveguen libremente sin medios auxiliares como practicaje o remolque y con una alta frecuencia de tránsito). Como criterio general, se considerará esta acción únicamente para la verificación de modos de fallo cuando se verifique esta condición excepcional a criterio incondicional de no fallo ($p_f < 10^{-4}$) o con probabilidades bajas ($p_f < 0,05$) y siempre que existan buques pertenecientes a la flota en tránsito o en maniobra evolutiva o de parada que naveguen libremente sin medios auxiliares en las proximidades de la obra de atraque (*i*) y se cumpla la siguiente desigualdad:

$$N \sum_i f_i P G_i \geq 10$$

siendo N el número anual de buques esperable en tránsito o en maniobra evolutiva que pueden afectar a la obra de atraque, f_i el porcentaje de buques del tipo i en la flota esperable en tránsito o en maniobra evolutiva y $P G_i$ la probabilidad de que el buque i en situación accidental golpee a la obra de atraque. Esta última probabilidad se definirá mediante modelos numéricos o experimentales que definan, asociadas a cada valor de la probabilidad, las áreas barridas por los buques en tránsito, en maniobra evolutiva o parada cuando se produzcan los diferentes accidentes o incidentes, considerando que las condiciones climáticas en el emplazamiento compatibles son las correspondientes a condición de trabajo excepcional (valor cuasi-permanente de las variables climáticas independientes) (Ver Parte 9 de la ROM 3.1-99). En ausencia de análisis detallados del área barrida mediante modelos numéricos, salvo para el caso de maniobra de parada, la probabilidad de que el centro de gravedad de un buque en situación accidental alcance una posición determinada en cada sección perpendicular a la trayectoria operativa establecida para el mismo en condiciones normales puede estimarse simplificada por medio de una función de densidad normal, centrada en el eje de la vía de navegación o de la curva evolutiva con una desviación típica igual a la eslora del buque. Las trayectorias operativas de los buques en maniobra operativa en condiciones normales aplicables a esta situación cuando se consideren en el emplazamiento condiciones climáticas correspondientes a condición de trabajo excepcional, pueden consultarse en la ROM 3.1-99.

En la literatura técnica especializada pueden encontrarse métodos para la determinación de las cargas de impacto producidas por el abordaje de un buque a partir de la energía cinética desarrollada por el mismo en las condiciones excepcionales establecidas, considerando las funciones de distribución de los factores que inciden en su determinación (velocidad del buque, ángulo de aproximación, punto de contacto, ...), obtenidos por medio de los modelos numéricos o experimentales señalados en el párrafo anterior, de forma similar lo dispuesto para la determinación de las cargas de atraque mediante modelos numéricos (Ver apartado 4.6.4.4.3.1.2. b). Con estas consideraciones, la

Las acciones debidas al impacto accidental de buque durante las operaciones de atraque son equivalentes a los efectos de su descripción, tratamiento y distribución a las acciones de atraque (ver apartado 4.6.4.4.3), considerando la energía cinética desarrollada por el buque y cedida al sistema de atraque en las situaciones accidentales que pueden producirse durante las maniobras de atraque en lugar de la que se produce en las condiciones consideradas como normales.

Las acciones debidas al impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque pueden considerarse como de carácter extraordinario o insólito en los estados meteorológicos en los que se considera la realización de operaciones de atraque y, por tanto, dependientes de los agentes climáticos que actúan en estos estados. La presentación de estas acciones define una condición de trabajo o ciclo de sollicitación asociado a la presentación de dicho agente extraordinario (condiciones excepcionales, CT3,2), no tomándose en consideración en ninguna otra condición de trabajo o ciclo de sollicitación. Es decir, tampoco se considerará que pueda actuar simultáneamente con el agente sísmico u otros agentes de carácter extraordinario o insólito.

Debido a la corta duración de actuación de la acción, en el estado representativo asociado con su presentación puede suponerse simplificada que los otros agentes independientes de actuación simultánea tienen el carácter de permanentes en dicho estado. En este estado los valores representativos y, en su caso las funciones de distribución, de los agentes de estacionamiento y almacenamiento de mercancías, de manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros, así como tráfico terrestre, en las condiciones de simultaneidad entre sí definidas en esta Recomendación y en la situación operativa (en servicio o fuera de servicio) compatible con las operaciones de atraque, serán los correspondientes a condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario, considerando el estado meteorológico en el que se realiza la maniobra de atraque (Ver apartados correspondientes a cada agente y acción).

Debido a su incompatibilidad operativa, las otras cargas de operaciones de los buques no se considerarán de actuación simultánea en dicho estado, salvo las debidas a las corrientes generadas por las hélices y los efectos hidrodinámicos inducidos por un buque navegando. Salvo indicación expresa en contrario por parte del Pro-

determinación de la energía cinética desarrollada por el buque podrá realizarse por medio de la formulación establecida en esta Recomendación para las acciones de atraque (Ver apartado 4.6.4.4.3.1.).

Sin perjuicio de otras formulaciones, puede adoptarse como valor de la acción estática equivalente al abordaje frontal de un buque el obtenido a partir de la fórmula de Woisin-Knott, la cual considera que la estructura que recibe el abordaje es fija e indeformable y que, por tanto, la totalidad de la energía de impacto es absorbida por la deformación del buque. Esta hipótesis es aplicable cuando la estructura que recibe el impacto pueda considerarse a estos efectos como rígida y no está protegida con defensas. De acuerdo con dicha fórmula, el abordaje frontal de un buque de desplazamiento Δ_{impacto} perpendicularmente a una estructura puede asimilarse a la acción de una carga estática puntual y horizontal, perpendicular a la superficie de la estructura que sufre el impacto y aplicada a una altura de 1,50 m sobre el nivel del agua correspondiente a condiciones excepcionales de valor:

$$P_{k,\text{frontal}} = 0,88 \sqrt{TPM} \left(\frac{V_{b,a}}{8} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\Delta_{\text{impacto}}}{\Delta_{PC}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

siendo $V_{b,a}$ la velocidad absoluta del buque (velocidad del buque + velocidad de la corriente correspondiente a condiciones climáticas de compatibilidad en condiciones de trabajo excepcionales) en m/s, TPM el tonelaje de peso muerto del buque en t y Δ_{impacto} y Δ_{PC} el desplazamiento del buque en el momento del impacto y a plena carga, respectivamente, expresados en t. $P_{k,\text{frontal}}$ queda expresada en MN. Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas, se adoptará como valor representativo de la velocidad del buque el correspondiente al 95% de probabilidad de no excedencia de la función de distribución de dicha variable en el escenario extraordinario considerado (Ver ROM 3.1-99 y apartado 4.6.4.4.2.1 de esta Recomendación para valores usuales de las velocidades de buques en tránsito). Para formulaciones probabilistas se utilizará dicha función de distribución de la velocidad en el momento del impacto. Los efectos locales producidos por el impacto se asimilarán a la aplicación de una presión en la zona de impacto de 1MPa. En el caso de que el abordaje se produzca sobre una estructura discontinua, la carga se considerará aplicada en el punto equidistante de sus bordes.

Si el abordaje frontal es oblicuo, formando el vector velocidad del buque un ángulo θ con la superficie de la estructura, podrá considerarse que la acción tiene una componente perpendicular a la estructura de valor $[P_{k,\text{frontal}} \cdot \text{sen}\theta]$ y una componente paralela de valor $[0,4 \cdot P_{k,\text{frontal}} \cdot \text{sen}\theta]$. Cuando el choque se produzca con las partes laterales del buque, puede considerarse que la acción de impacto en la dirección de la velocidad del buque es 0,3 veces la definida para el abordaje frontal.

A los efectos de la determinación del valor nominal correspondiente a esta acción accidental, se adoptará el impacto asociado al buque que tiene la mayor probabilidad de abordaje, siempre que para ninguno de los buques individualmente se cumpla que $N \cdot f_i \cdot PG_i \geq 10$ (Es decir el de mayor $[N \cdot f_i \cdot PG_i]$). En el caso de que alguno de los buques cumpla con dicha desigualdad, se adoptará como valor nominal de la carga accidental el mayor valor de la carga de impacto de entre las correspondientes a estos buques.

motor, los efectos hidrodinámicos generados por el buque navegando se toman en consideración incluyéndolos como parte de las condiciones climáticas más desfavorables en las que se puede realizar la maniobra de atraque en el emplazamiento, ya que en general las condiciones de explotación de la instalación no limitan las maniobras de atraque cuando estos efectos se producen (Ver apartado 4.6.4.4.2).

4.6.4.4.1. Métodos para la determinación de las acciones debidas al impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque

Salvo cuando se cuantifique mediante modelos numéricos o experimentales que simulen los diferentes accidentes o incidentes que pueden presentarse durante la maniobra de atraque (Ver epígrafes b₂ y c del apartado 4.6.4.3.1.2), la energía cedida al sistema de atraque en dichas situaciones accidentales se definirá para formulaciones deterministas y semi-probabilistas de las ecuaciones de verificación mediante valores nominales, dada la gran dificultad de disponer de registros directos fiables, completos y suficientes de dicha energía, o indirectos de las velocidades de aproximación al atraque en estas condiciones, que permitan disponer para cada tipo de buque y situación de carga del mismo de funciones de distribución extremales de las energías cinéticas cedidas al sistema de atraque en condiciones operativas extraordinarias.

El valor nominal de la energía cinética cedida al sistema de atraque en condiciones operativas extraordinarias, debidas al impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque, que debe adoptarse será función de la probabilidad de presentación adoptada para el modo de fallo considerado en las condiciones de trabajo excepcionales asociadas con la presentación de esta acción. Se definirá como el valor máximo entre los valores obtenidos mayorando el valor representativo de la energía cedida al sistema de atraque definido para condiciones de trabajo correspondientes a la realización de maniobras de atraque en condiciones normales, correspondiente a cada tipo y situación de carga de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque [E_{fi}] (Ver apartado 4.6.4.3.1.2), mediante un factor de amplificación que estime la magnitud del impacto accidental más desfavorable que para cada tipo de buque y situación de carga del mismo se puede presentar durante el periodo de servicio, asociada a la probabilidad de excedencia adoptada [$\gamma_{fi|probabilidad}$]. En ningún caso, el valor nominal de la energía cinética cedida al sistema de atraque en estas condiciones excepcionales será menor que 1,10 el valor característico de la misma en condiciones de trabajo operativas normales. Es decir:

$$E_{f,extprobabilidad} = \max [\gamma_{fi|probabilidad} \cdot E_{fi}] \geq 1,10 \cdot \max [E_{fi}]$$

Para una determinada probabilidad de presentación en un intervalo de tiempo, la magnitud del impacto accidental que puede asociarse a la misma es función de la composición, características y situación de la carga de los buques de la flota esperable en la obra de atraque y amarre en el periodo de tiempo considerado, así como, para cada tipo de buque y situación de carga del mismo, de las condiciones locales en las que se produce la maniobra de aproximación del buque al atraque en condiciones normales (velocidad de aproximación y grado de control de la maniobra) y de su frecuencia de llegadas al mismo. En este sentido, valores de la velocidad de aproximación en condiciones normales muy reducidos ($\leq 0,1$ m/s) aumentan la magnitud del impacto accidental para la probabilidad de presentación durante la vida útil considerada, al exigir la maniobra un mayor control del buque y, por tanto, ser más sensible a errores humanos. A su vez, los buques de gran desplazamiento, así como los que transportan mercancías peligrosas, los cuales realizan las maniobras de atraque en condiciones de mayor control de los procedimientos operativos y utilizando en general medios auxiliares capaces de reaccionar antes situaciones extraordinarias, disminuyen la magnitud de los impactos accidentales para la probabilidad de presentación considerada. Finalmente, una alta frecuencia de llegadas puede considerarse que aumenta la magnitud de los impactos extraordinarios para dicha probabilidad.

Para la verificación de modos de fallo en esta condición excepcional con probabilidades de fallo menores del 5%, el factor de amplificación para cada tipo de buque de la flota prevista en el atraque [$\gamma_{fi|<5\%}$] puede estimarse, tomando en consideración los aspectos anteriormente señalados, mediante la multiplicación de los factores parciales recogidos en la tabla 4.6.4.43 que le sean de aplicación. Es decir:

$$\gamma_{fi|5\%} = \gamma_{fi|500años} = \prod_{j=\pi}^4 \pi_{fi,j}$$

Tabla 4.6.4.43. Factores parciales de amplificación para la determinación del valor nominal de la energía cinética cedida por cada tipo de buque al sistema de atraque en condiciones excepcionales debidas al impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque, a partir del valor representativo de la energía cinética definida para condiciones de trabajo correspondientes a la realización de maniobras de atraque en condiciones normales (para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo menores del 5%)

$\gamma_{fi,1}$		$\gamma_{fi,2}$		$\gamma_{fi,3}$		$\gamma_{fi,4}$	
Desplazamiento del buque		Medios auxiliares en la maniobra		Valor representativo de la velocidad de aproximación en condiciones normales		Frecuencia de llegadas de buques al atraque	
≤ 85.000 t	> 85.000 t	Sin remolcadores	Con remolcadores	$\leq 0,1$ m/s	$> 0,1$ m/s	Alta (> 300 escalas/año)	Baja (≤ 300 escalas/año)
1,50	1,25	1,25	1,00	1,20	1,00	1,15	1,00

Aunque sin responder a un significado estadístico real, el valor nominal de la energía de atraque extraordinaria así estimada puede considerarse a efectos prácticos asociado a un periodo de retorno del orden de 500 años.

Para la verificación de modos de fallo en estas condiciones excepcionales con probabilidades de fallo mayores o iguales del 5% se adoptará el valor nominal de la energía cedida al sistema de atraque en situación extraordinaria asociado a una probabilidad de presentación en el intervalo de tiempo considerado igual a la probabilidad de fallo considerada. Para ello, el factor de amplificación correspondiente a cada tipo de buque asociado con dicha probabilidad de presentación (periodo de retorno T_R) podrá obtenerse a partir del factor definido de acuerdo con la metodología incluida en la tabla 4.6.4.43, considerando que la función extremal de dicho factor puede aproximarse mediante la siguiente relación:

$$\gamma_{fi|T_R} = \gamma_{fi|500\text{años}} = \left[\frac{T_R}{500} \right]^{\frac{1}{20}}$$

siendo T_R el periodo de retorno en años.

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación, para cada tipo, características y situación de carga de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, la energía cinética cedida al sistema de atraque en situaciones excepcionales debidas a impactos accidentales del buque durante las maniobras de atraque podrá definirse por medio de una función de distribución derivada de la función de distribución de la energía cinética correspondiente a este tipo de buque y situación de carga del mismo en condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de maniobras de atraque en condiciones normales (Ver apartado 4.6.4.4.3.1) y de la función de distribución extremal del factor de amplificación $\gamma_{fi|T}$ asociado al mismo, estimada de acuerdo con lo previsto en este apartado. La función de distribución de la energía cedida al sistema de atraque por el conjunto de la flota en estas condiciones excepcionales podrá obtenerse como función derivada de la función de distribución de la energía cedida en estas condiciones por cada uno de los buques de la flota y de las funciones de densidad que definen la composición de la flota.

Los valores nominales de la energía cinética cedida al sistema de atraque en la condición de trabajo excepcional asociada con el impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque, correspondientes a cada tipo de buque y situación de carga del mismo perteneciente a la flota esperable en el atraque, también podrán obtenerse de forma más precisa mediante modelos numéricos y experimentales, de igual forma que lo previsto para la determinación de los valores representativos de la energía cedida al sistema de atraque en condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de maniobras de atraque en condiciones normales (ver epígrafes b_2 y c del apartado 4.6.4.4.3.1.2), pero considerando en este caso, en cada estado meteorológico y operativo simulado para condiciones de atraque normales, escenarios de atraque que contemplen los diferentes supuestos que se pueden presentar en casos accidentales o de emergencia durante la maniobra de atraque, particularmente los debidos a fallos de los sistemas del buque y de los medios auxiliares (amarras, remolcadores, ...). A los efectos de definir los valores nominales de dicha energía asociados a cada probabilidad de presentación, el valor repre-

sentativo de la energía cinética en condiciones extraordinarias obtenido para cada tipo de buque y situación de carga del mismo mediante la utilización de estas últimas metodologías ($E_{fi|extraordinaria}$) se considerará equivalente al valor $\gamma_{fi|500 años} \cdot E_{fi}$ cuando se parte de la energía cinética cedida en condiciones operativas normales obtenida mediante métodos estadísticos o modelos analíticos. En este caso, la función de distribución de la energía cinética cedida al sistema de atraque correspondiente a cada buque en estas condiciones puede estimarse mediante la formulación la definida para el factor de amplificación. Es decir:

$$E_{fi|extraordinaria}T = E_{fi|extraordinaria}500 años \left[\frac{T_R}{500} \right]^{\frac{1}{20}}$$

Los valores nominales de la energía cedida al sistema de atraque debido a impacto accidental de buque durante las operaciones de atraque se resumen en la tabla 4.6.4.44.

Si el Promotor no está en condiciones de precisar de forma fiable, completa y suficiente la composición y características de la flota de buques esperable en la instalación y define, de acuerdo con lo previsto en esta Recomendación únicamente los buques máximo y mínimo, a los efectos de definir la energía cinética cedida al sistema de atraque en condiciones extraordinarias se considerará como valor nominal de dicha energía el más desfavorable de los valores representativos correspondientes a cada uno de los buques. Es decir:

$$E_{f,extprobabilidad} = \max [(\gamma_{f, buque max|probabilidad} \cdot E_{f,buque max}), (\gamma_{f, buque mín|probabilidad} \cdot E_{f,buque min})] \geq 1,10 \cdot \max[E_{f,buque max}, E_{f,buque min}]$$

Tabla 4.6.4.44. Valores nominales de la energía cinética desarrollada por el buque y cedida al sistema de atraque en condiciones excepcionales debidas al impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque para fase de servicio de obras definitivas ¹⁾ (Para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo menores del 5%) ²⁾

CONDICIÓN DE TRABAJO	MÉTODO DE CÁLCULO DE LA ENERGÍA CEDIDA AL SISTEMA DE ATRAQUE EN CONDICIONES NORMALES	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo normales Operativas correspondientes a la realización de las maniobras de atraque (CT1)	-	-	-	-	-
Coniciones de Trabajo Extremas (CT2)	-	-	-	-	-
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas al impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque (CT3,2)	Estadístico y Analítico	$\max[\gamma_{fi 500 años} \cdot E_{fi}] \geq 1,10 \max [E_{fi}]$	-	-	-
	Numérico y Experimental ³⁾	$\max[E_{fi extraordinaria} 500 años] \geq 1,10 \max [E_{fi}]$	-	-	-
Otras condiciones de Trabajo Excepcionales y Condiciones de Trabajo Excepcionales o Extremas debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,1 y CT3,3)	-	-	-	-	-

Valores nominales de la energía cinética desarrollada por el buque y cedida al sistema de atraque en condiciones excepcionales debidas al impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque para fase de servicio de obras definitivas ¹⁾ (Para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo menores del 5%) ²⁾

Notas

- 1) En estados o situaciones de proyecto transitorios; es decir aquéllos que tienen corta duración respecto al periodo de servicio de la obra ya sea, entre otros, por causa de la geometría de la obra (fase de construcción), por las características del terreno, por las acciones actuantes o por ser representativos de una situación post-excepcional (fase de reparación) no se considera la actuación de ningún tipo de acción accidental o extraordinaria.
- 2) Para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo mayores o iguales al 5%, ver texto.
- 3) Simulando escenarios de atraque que contemplen los diferentes supuestos que se pueden presentar en casos accidentales o de emergencia durante la maniobra de atraque definida para condiciones normales (fallos de los sistemas del buque y de los medios auxiliares).

LEYENDA

- E_{fi} : valor representativo de la energía cinética cedida al sistema de atraque durante las operaciones de atraque en condiciones normales correspondiente al buque i de la flota esperable en el atraque.
- $\gamma_{fi|500 \text{ años}}$: Factor de amplificación para la estimación del valor representativo de la energía cedida al sistema de atraque en situaciones extraordinarias debidas al impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque a partir del valor representativo de la misma en condiciones de trabajo normales, para el buque tipo i de la flota esperable en el atraque, asociado a efectos prácticos a un periodo de retorno de 500 años.
- $E_{fi|extraordinario|500 \text{ años}}$: valor representativo de la energía cinética cedida al sistema de atraque en situaciones accidentales o de emergencia correspondiente al buque tipo i de la flota esperable en el atraque obtenido mediante modelos numéricos o experimentales, asociado a un periodo de retorno de 500 años.

4.6.4.4.2. Comprobaciones complementarias para la elección del tipo y características del sistema de atraque asociadas con la energía cinética debida a impactos accidentales del buque durante las operaciones de atraque

El sistema de atraque en la condición de trabajo correspondiente a la presentación del agente accidental “impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque” deberá cumplir los requisitos mínimos definidos a continuación.

En el caso de que, a criterio del Promotor de la instalación soportado por estudios de optimización económica, a partir de una probabilidad de presentación mayor que la considerada para la verificación del fallo del sistema de atraque en estas condiciones excepcionales, se admitan averías o daños parciales debidos a los impactos accidentales que puedan afectar al sistema de defensas, deberá comprobarse que la instalación de atraque en la situación post-excepcional (después del impacto accidental) puede satisfacer los requisitos de seguridad, servicio y operatividad exigidos para dicha fase transitoria hasta su completa reparación, para todas las condiciones de trabajo que sean de aplicación en dicha fase ⁽⁸⁵⁾.

a) Criterios asociados a la condición de no fallo del sistema de atraque

Salvo que el Promotor de la instalación de atraque fije otro criterio, para cada buque y situación de carga del mismo, la parte correspondiente del mayor valor nominal adoptado para la energía cinética cedida al

(85) Un caso bastante común, especialmente si se prevén unidades de repuesto que permitan una reposición rápida, es admitir daños o roturas de las defensas a partir de un cierto valor del impacto extraordinario, asociado a una probabilidad de presentación del mismo mayor que la que se ha adoptado para verificar el fallo de la estructura de atraque, siempre que las acciones transmitidas en esta situación no produzcan daños en la obra o a la estructura del buque. En este caso deberá comprobarse que durante la fase asociada a la sustitución o reparación de la defensa, la instalación de atraque cumple los requisitos de seguridad, servicio y operatividad exigidos en dicha fase transitoria. En configuraciones físicas de la obra de atraque tipo muelle o pantalán continuo es más usual admitir daños o roturas de las defensas por un impacto extraordinario que en pantalanos discontinuos o duques de alba, ya que los criterios de seguridad y operatividad durante la fase transitoria citada son más fácilmente verificables en las primeras, al ser estas configuraciones físicas mucho menos sensibles a la rotura de una defensa aislada.

sistema de atraque debida a impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque⁽⁸⁶⁾, absorbida por cada uno de los elementos que forman parte del sistema de atraque, no debe exceder la capacidad de absorción de energía de cada uno de estos elementos en el dominio último, definida por medio de los valores característicos de sus curvas de comportamiento para condiciones de trabajo operativas en condiciones normales, considerando el nivel inferior y superior de compatibilidad de las aguas exteriores en el estado meteorológico asociado con el valor representativo de la energía cinética en dicha condición de trabajo. En el caso de que el Promotor admita el agotamiento o rotura del sistema de defensas, en ningún caso la parte de la energía absorbida en esta situación por la estructura de atraque deberá exceder su capacidad de absorción en el dominio último.

Asimismo deberá verificarse que los elementos que conforman el sistema de atraque no fallan debido a los esfuerzos de corte longitudinales y transversales, considerando la componente de rozamiento de las cargas de atraque asociada con el mayor valor nominal adoptado para la energía cinética cedida al sistema de atraque debida al impacto accidental del buque.

Para formulaciones probabilistas, deberá cumplirse que la probabilidad de que, en la condición de trabajo excepcional correspondiente a la presentación del agente “impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque”, las cargas de atraque en cada uno de los elementos que forman parte del sistema de atraque excedan el dominio último es menor que la probabilidades de presentación más pequeña adoptada para los modos de fallo del sistema de atraque en dicha condición de trabajo.

b) Criterios asociados a la condición de no fallo de la estructura del buque

Para cada tipo y condición de carga de los buques esperables en el atraque y en el escenario de atraque asociado con cada uno de ellos, tanto para los niveles superiores como inferiores de compatibilidad de las aguas exteriores en el estado meteorológico asociado con el valor representativo de la energía cinética en condiciones de trabajo normales operativas, las cargas y presiones de contacto ejercidas sobre el casco del buque deben mantenerse en niveles que no produzcan daños o deformaciones permanentes en la estructura de dicho buque, para el mayor valor nominal de la energía cinética cedida al sistema de atraque debida a impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque.

Para la definición de las cargas y presiones de contacto, de las máximas presiones admisibles sobre el casco de los buques y de las áreas de contacto casco del buque/sistema de atraque será de aplicación lo dispuesto a estos efectos en el apartado correspondiente a las acciones de atraque (ver epígrafe b del apartado 4.6.4.4.3.2).

En el caso de que se consideren formulaciones probabilistas, deberá comprobarse que la probabilidad de que las cargas y presiones de contacto ejercidas sobre el casco de los buques en esta condición de trabajo excepcional, tanto para los niveles superiores como inferiores de compatibilidad de las aguas exteriores, supere las presiones admisibles es menor que la probabilidad de excedencia más pequeña adoptada para los modos de fallo del sistema de atraque en esta condición de trabajo.

c) Criterios asociados a las deformaciones del sistema de atraque

Para cada tipo y condición de carga de los buques esperables en el atraque, las deformaciones del sistema de atraque en el momento del impacto extraordinario definido por el mayor valor nominal de la energía cinética cedida al sistema de atraque debida al impacto accidental del buque durante las maniobras de atraque [$\gamma_{fi} \text{ menor probabilidad} \cdot E_{fi} \geq 1,1 \cdot E_{fi}$], teniendo en cuenta la posibilidad de deformaciones no uniformes debido a compresiones angulares horizontales y verticales correspondientes al escenario

(86) El mayor valor nominal adoptado para la energía cinética en estas condiciones de trabajo es el asociado con la menor probabilidad de excedencia adoptada para los modos de fallo del sistema de atraque en estas condiciones de trabajo [$\gamma_{fi} \text{ menor probabilidad} \cdot E_{fi} \geq 1,1 E_{fi}$].

de atraque de dicho buque asociado con el valor representativo de la energía cinética en condiciones normales operativas, considerando el nivel inferior y superior de las aguas exteriores compatibles con dicho escenario, deben mantenerse en niveles que, para las distintas posiciones que puede tomar el área de impacto en el casco del buque, impidan el contacto directo de otras partes del casco ajenas a dicha área o de la superestructura del buque con la estructura resistente, con la superestructura o con el equipamiento localizado en la obra de atraque. Para esta situación también serán de aplicación las verificaciones y recomendaciones definidas a estos efectos para condiciones normales de la maniobra de atraque (epígrafe c del apartado 4.6.4.4.3.2).

Para formulaciones probabilistas, deberá verificarse que la probabilidad de que se produzca contacto directo del buque con la estructura resistente, la superestructura o con el equipamiento en esta condición de trabajo excepcional, tanto para los niveles superiores como inferiores de compatibilidad de las aguas exteriores, es menor que la probabilidad de excedencia más pequeña adoptada para los modos de fallo del sistema de atraque en dicha condición de trabajo.

4.6.4.4.5. CORRIENTES GENERADAS POR LAS HÉLICES Y OTROS EQUIPOS DE PROPULSIÓN Y MANIOBRA DE LOS BUQUES ($q_{v,44}$)

Este agente está asociado con el campo de velocidades del flujo generado por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques y embarcaciones auxiliares en las proximidades de las obras de atraque y amarre, durante las operaciones de atraque y desatraque o durante la permanencia del buque en el atraque cuando se considere la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre.

Las velocidades de las corrientes generadas por esta causa pueden superar ampliamente las debidas a las corrientes naturales y a las corrientes de retorno inducidas por el buque navegando, alcanzando valores del orden de hasta 8 m/s en los fondos marinos. Estas corrientes pueden actuar de forma directa sobre los buques y las obras de atraque de forma equivalente a las corrientes naturales, considerando el correspondiente perfil de velocidades, siendo un factor a tomar en consideración para la determinación de las acciones que dependen de las corrientes, particularmente de las cargas de amarre, así como para la verificación de los distintos modos de fallo en los que su actuación puede ser predominante.

Particularmente, estas corrientes deberán tomarse como agente predominante para la verificación del modo de fallo “socavación o erosión” de los fondos marinos en las zonas próximas a las obras de atraque, del pie de los taludes de relleno en las obras fijas abiertas y de las banquetas de cimentación en las obras de gravedad, así como, en su caso, para verificar las soluciones para hacer frente a estos efectos (aumento de los resguardos en los calado de proyecto, incorporación de elementos específicos de protección, ...) y proceder a su dimensionamiento (Ver ROM 0.5-05). Cuando la velocidad de la corriente generada en el fondo marino por dicha causa supera un valor crítico, función del tipo de material y de la pendiente del fondo, se producen desplazamientos de dicho material formándose socavaciones y acumulaciones que pueden inducir fallos o paradas operativas en las obras de atraque.

Este agente tiene un carácter variable. Su variabilidad temporal tiene un marcado carácter oscilatorio. Puede describirse mediante modelos de probabilidad de la variable básica que lo define (velocidad instantánea de la corriente en un punto) y por sus parámetros estadísticos (variables de estado) de forma similar a lo indicado para los agentes del medio físico y particularmente para el viento o la corriente (ver apartado 4.6.2 y ROM 0.4-95).

El campo de velocidades de un flujo generado por las hélices, en zonas no afectadas por la proximidad de obras de atraque y amarre u otros obstáculos que supongan un confinamiento del flujo, puede dividirse en dos zonas: una inicial de establecimiento del flujo (que alcanza una distancia de aproximadamente 2 o 3 veces el diámetro de la hélice) y otra donde el flujo puede considerarse estabilizado. En estos casos, la variable que se considera que define a este agente es el campo de velocidades correspondiente al flujo estabilizado. Dicho campo de velocidades puede considerarse definido predominantemente por los perfiles de velocidades de corriente horizontales contenidos en el plano vertical que contiene el eje de la hélice o en el plano vertical de simetría respecto a sus ejes en el caso de dos o más hélices (plano de crujía del buque en el caso de hélice/s situadas en popa y plano perpendicular al plano de crujía en el caso de hélice/s transversales situadas a proa o popa), a dife-

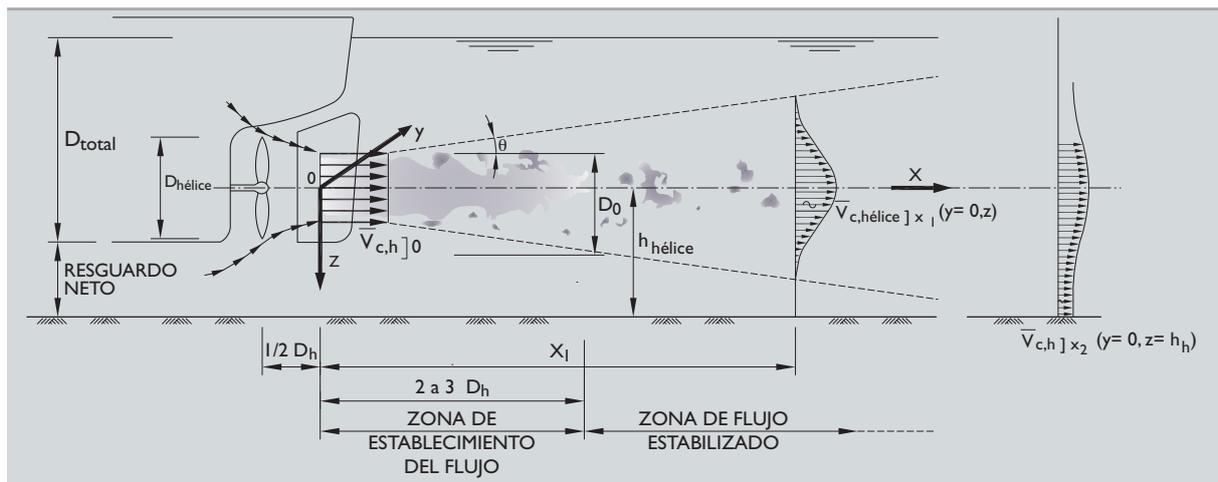
rentes distancias horizontales (x) de la hélice/s medidas sobre el eje de la misma o, en el caso de más de una hélice, sobre la línea horizontal contenida en el plano de simetría de los ejes de las hélices (Ver figura 4.6.4.27). Estos perfiles de velocidades de corriente horizontales se complementan con los contenidos en planos paralelos al anteriormente definido en los diferentes puntos del eje perpendicular al mismo (y). Estos perfiles de velocidades definen las componentes axiales de la velocidad de la corriente. Las componentes radiales y tangenciales de la velocidad de la corriente pueden considerarse despreciables en relación con las componentes axiales.

Cada una de estas velocidades puede considerarse compuesta por una componente media $[\overline{V_{C, hélices}]}_x(y, z)]$ y por una componente aleatoria de fluctuación en la dirección del flujo, estacionaria, de distribución gaussiana y valor medio cero, que describe las características de la turbulencia longitudinal del flujo $[V_{C, hélices|f}]_x(t)]$. Es decir:

$$V_{C, hélices}]_x(y, z, t) = \overline{V_{C, hélices}]}_x(y, z) + V_{C, hélice|f}]_x(t)$$

Es admisible considerar que la distribución de velocidades medias axiales en el plano vertical que contiene el eje de la hélice (o en el plano vertical de simetría respecto a sus ejes en el caso de dos o más hélices) en cada punto (x) de la zona de flujo estabilizado puede aproximarse a través de una distribución normal centrada en dicho/s eje/s (Ver figura 4.6.4.27).

Figura 4.6.4.27. Definición de componentes axiales del campo de velocidades de corriente generadas por las hélices de los buques (En $y = 0$) sin alteración por la presencia de obras u otros obstáculos



Las condiciones de contorno en el emplazamiento, especialmente la presencia de las obras de atraque y amarre, así como de otros buques, pueden alterar sustancialmente este campo de velocidades. En estos casos la definición de los perfiles de velocidades podrá realizarse mediante modelos experimentales o mediante modelos matemáticos numéricos capaces de reproducir adecuadamente el campo de velocidades de un chorro generado por hélices en las condiciones de contorno del emplazamiento.

El agente “corrientes generadas por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques” puede considerarse como un agente compuesto al ser dependiente de otros agentes que inciden en su cuantificación, particularmente del buque, de los agentes climáticos (fundamentalmente el nivel bajo de las aguas exteriores, pero también el oleaje, el viento, las corrientes, ... que pueden producir aumentos del calado del buque respecto a su calado estático. Ver ROM 3.1-99) y de otros agentes inducidos por los buques navegando, por lo que se considerará que está correlacionado con estos agentes en las condiciones de trabajo en las que se considere la realización de maniobras de atraque y desatraque, así como en aquéllas en las que, en su caso, se considere la permanencia del buque en el atraque con la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre, y actuando simultáneamente con ellos. Por tanto, en lo que afecta a esta

Recomendación, la manifestación estacionaria de este agente se produce únicamente en las citadas condiciones de trabajo y, por tanto, no se tomará en consideración en ninguna otra condición de trabajo operativa, extremal o excepcional en las que no se considere la realización de maniobras de atraque o desatraque o la permanencia del buque en el atraque con el auxilio de embarcaciones auxiliares.

No se considera necesario tomar en consideración este agente para la definición de las acciones de atraque del buque generador; es decir, no se considerará dicha corriente para la cuantificación de la velocidad de la corriente en el emplazamiento que interviene en la formulación de dicha acción. Sin embargo, deberá tomarse en consideración para la determinación de las acciones de amarre correspondientes a un buque cuando la configuración y características del sistema de amarre en una condición de trabajo (p.e. condiciones de trabajo excepcionales) incluya el auxilio de embarcaciones auxiliares (remolcadores), así como para la determinación de cargas de amarre en buques situados en atraques contiguos en la condición de trabajo correspondiente a la realización de maniobras de atraque o desatraque del buque generador (Ver apartado 4.6.4.4.7).

Independientemente del tipo de terreno y de los resguardos adoptados en el proyecto, deberán valorarse especialmente los efectos debidos a las hélices y otros elementos de propulsión y maniobra sobre el fondo marino y las obras de atraque en aquellos emplazamientos y configuraciones de atraque en los cuales los buques atracan frecuentemente en la misma posición o éstos realizan las maniobras de atraque y desatraque mediante sus propios medios de propulsión y gobierno y sin ayuda de equipos auxiliares (remolcadores) y particularmente cuando la flota de buques esperable en el atraque esté compuesta por buques dotados con dispositivos de gran potencia que permiten mejorar sus condiciones de maniobrabilidad a baja velocidad (comunes en buques portacontenedores, ro-ro, ferris y buques de guerra) como de más de una hélice, hélices en tobera o hélices transversales (Ver ROM 3.1-99). Por dichas razones, es recomendable considerar con el mayor detalle estos efectos en las configuraciones de atraque que conforman líneas de atraque discontinuas con atraque lateral del buque, así como en las obras para atraque por proa o popa, independientemente del uso de la obra de atraque.

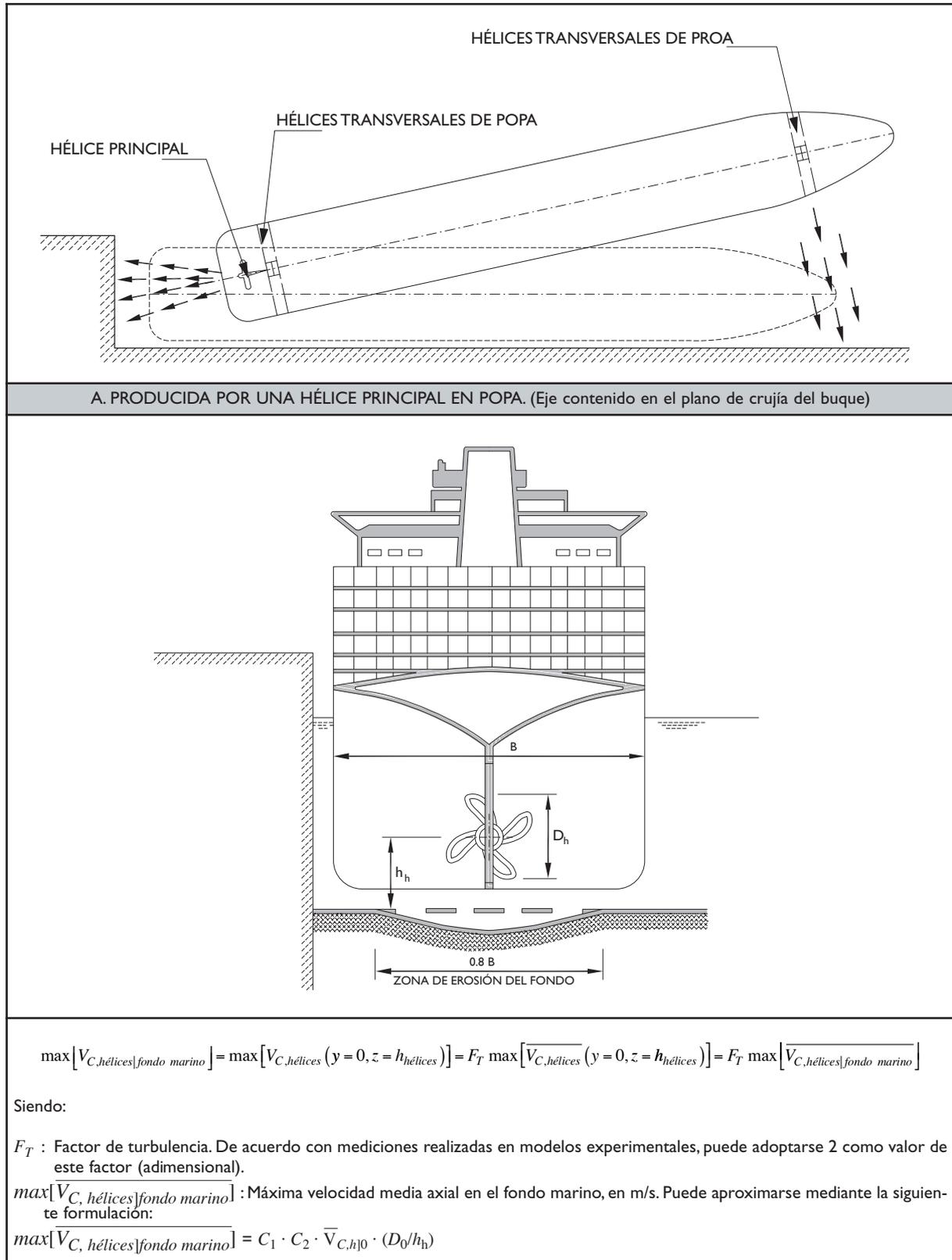
4.6.4.4.5.1. Máxima velocidad horizontal de la corriente en el fondo marino

Para la verificación del modo de fallo “socavación, erosión y acumulación” en las proximidades de las obras de atraque y amarre, simplificada el agente “corrientes generadas por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques” se definirá adoptando como variable de estado la máxima velocidad horizontal de la corriente en el fondo marino en el plano vertical que contiene el eje de la hélice o en el plano vertical de simetría respecto a sus ejes en el caso de dos o más hélices [$\max V_{C,hélices} (y = 0, z = h_{hélice})$].

Tal como se ha señalado para la definición de los perfiles de velocidades de corriente en presencia de las obras de atraque y amarre, la cuantificación de esta variable de estado puede realizarse para cada buque mediante modelos experimentales o mediante modelos matemáticos numéricos capaces de reproducir adecuadamente el campo de velocidades de un chorro generado por hélices en las condiciones de contorno en el emplazamiento y en las condiciones de trabajo consideradas. Sin perjuicio de lo anterior, se considera suficientemente válidas a los efectos de esta Recomendación, las estimaciones de esta variable incluidas en la tabla 4.6.4.45, tanto para cuando es producida por hélices principales en popa como por hélices transversales en proa o popa. La formulación incluida en la tabla se basa en admitir que la distribución de velocidades medias axiales en el plano vertical que contiene el eje de la hélice puede aproximarse a través de la distribución normal correspondiente a flujo no confinado, modificada mediante la introducción de parámetros y coeficientes de ajuste obtenidos experimentalmente para cada una de las condiciones de confinamiento del flujo.

De acuerdo con dicha formulación, para un buque o embarcación auxiliar determinado, los factores que inciden fundamentalmente en la cuantificación de la máxima velocidad de la corriente en el fondo marino generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de dicho buque o embarcación auxiliar en las distintas condiciones de trabajo (operativas y, en su caso, extremales y excepcionales) en las que se considere la realización de maniobras de atraque (Ver apartados 4.6.4.4.3. Acciones de atraque), así como en aquellas otras condiciones de trabajo en las que se considere la permanencia del buque en el atraque con la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre (Ver apartado 4.6.4.4.7. Acciones de amarre), son los siguientes:

Tabla 4.6.4.45. Definición de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices de los buques y embarcaciones auxiliares en el fondo marino durante las operaciones de atraque y desatraque o durante la permanencia de los buques en el atraque cuando se considere la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre



Definición de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices de los buques y embarcaciones auxiliares en el fondo marino durante las operaciones de atraque y desatraque o durante la permanencia de los buques en el atraque cuando se considere la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre (continuación)

Siendo:

D_0 : diámetro inicial del chorro (zona de máxima contracción (Ver figura 4.6.4.27), en m. Puede tomarse igual a D_h (diámetro de la hélice) para hélices en tobera y a $0,71D_h$ para hélices abiertas. Cuando el diámetro de la hélice no sea conocido, puede estimarse como el 70% del calado del buque en condiciones de desplazamiento en lastre.

h_h : distancia vertical entre el eje de la hélice y el fondo marino, en m. Cuando esta distancia en una determinada condición de trabajo no sea conocida puede determinarse a partir de la formulación del calado total incluida en la Parte 7 de la ROM 3.1-99, considerando que la distancia usual entre el eje de las hélices y la quilla del buque es del orden de $D_H/2 + 0,5$ m.

$\bar{V}_{C,h|0}$: velocidad del chorro en el origen ($x = 0, z = 0$), en m/s. Puede adoptarse como:

$$\bar{V}_{C,h|0} = 1,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{\rho_w \cdot D_0^2}}$$

P : potencia utilizada del sistema de propulsión, en W. Usualmente no se utiliza la totalidad de la potencia instalada durante las maniobras de atraque y desatraque, excepto en el caso de buques ro-ro y ferris o cuando las condiciones climáticas límite de operatividad adoptadas para las operaciones de atraque o desatraque se clasifiquen como desfavorables de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.36. Salvo en esos casos y en ausencia de otros criterios de explotación, se recomienda adoptar como potencia utilizada el 40% de la potencia instalada, independientemente de la utilización o no de remolcadores. En ausencia de datos más precisos, los valores usuales de la potencia instalada en cada buque puede determinarse de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 3.3.1.3. de la ROM 3.1-99.

ρ_w : densidad del agua, en kg/m^3 (Ver apartado 4.5).

C_1 : factor de confinamiento del flujo por efecto del fondo marino. De acuerdo con mediciones realizadas en modelos experimentales, puede adoptarse 0,4 como valor usual de este factor (adimensional).

C_2 : factor de confinamiento del flujo por la obra de atraque (adimensional) Se adoptarán los siguientes valores en función de la posición relativa del buque respecto a la obra de atraque durante la maniobra de atraque o desatraque:

$C_2 = 1.1$, cuando el flujo es aproximadamente paralelo a la línea de atraque (atraque lateral o de costado).

$C_2 = 1.2$, cuando el flujo es aproximadamente perpendicular a la línea de atraque (atraque por popa).

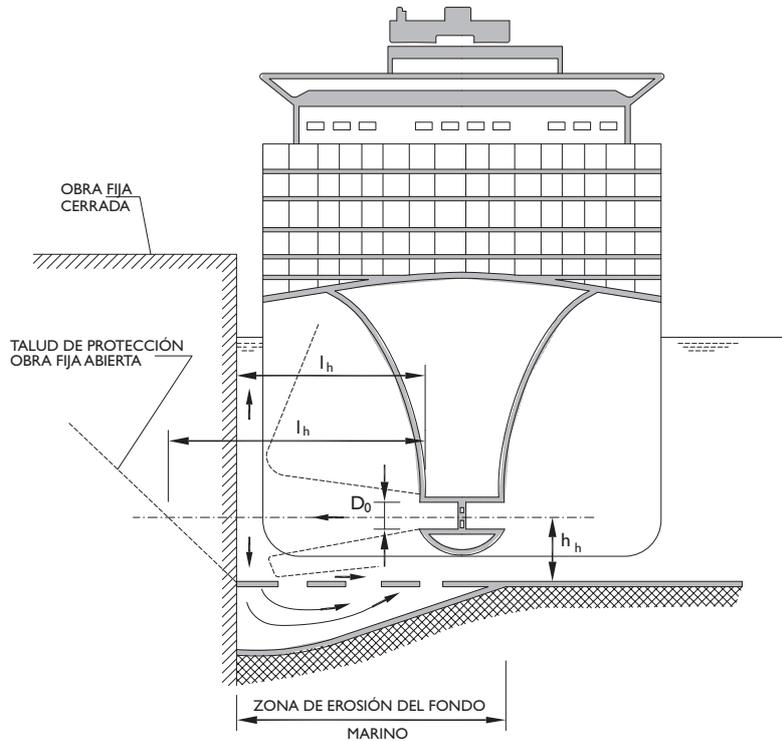
De acuerdo con el modelo matemático en el que se basa esta aproximación, puede considerarse que la máxima velocidad axial en el fondo marino debida a la corriente generada por una hélice principal en popa se produce a una distancia de la hélice entre 3 y 10 veces la distancia vertical entre el eje de la hélice y el fondo marino. Asimismo puede considerarse que el campo de velocidades axiales en el fondo marino en la zona en la que se produce la máxima corriente prácticamente no es significativo a partir de una distancia a ambos lados del eje de la hélice igual a 0,40 veces la manga del buque.

Dado que la distancia entre ejes en el caso de hélices múltiples está entre una y dos veces el diámetro de éstas, puede considerarse que la anterior aproximación es aplicable para cada una de las hélices hasta una distancia de aproximadamente $10 D_0$, por lo que, independientemente del número de hélices, la zona en la que se produce la máxima corriente se mantiene la misma, aunque la anchura en el fondo marino afectada será lógicamente mayor. Para distancias mayores puede considerarse que la distribución de velocidades sería equivalente a la producida por una única hélice de mayor tamaño, pudiendo admitirse que la zona afectada por el chorro tiene el doble de anchura que la debida a una única hélice.

- ◆ Tipo, potencia, dimensiones y posición del sistema de propulsión y maniobra del buque o embarcación auxiliar.
- ◆ Parámetros geométricos y de situación de carga del buque o embarcación auxiliar.
- ◆ Posición relativa del buque o embarcación auxiliar respecto al fondo marino, a la superficie de agua y a la obra de atraque en la condición de trabajo considerada.
- ◆ Distancia del eje de la o de las hélices al fondo marino ($h_{hélice}$) en la condición de trabajo considerada.
- ◆ Velocidad de desplazamiento del buque o embarcación auxiliar. Dado que las magnitudes del campo de velocidades se reduce por efecto de la navegación, del lado de la seguridad se considerará simplificada a los efectos de esta Recomendación que la velocidad del buque o embarcación auxiliar es nula durante las maniobras de atraque y desatraque o durante la permanencia del buque en el atraque.
- ◆ Parámetros geométricos y tipológicos de la obra de atraque.

Definición de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices de los buques y embarcaciones auxiliares en el fondo marino durante las operaciones de atraque y desatraque o durante la permanencia de los buques en el atraque cuando se considere la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre (continuación)

B. PRODUCIDA POR HÉLICES TRANVERSALES SITUADAS EN PROA O POPA
(eje perpendicular al plano de crujía del buque)



$$\max[V_{C,hélices\ trans\ fondo\ marino}] = \max[V_{C,hélices\ trans}(y=0, z=h_{hélices})] = F_T \max[\overline{V_{C,hélices\ trans}}(y=0, z=h_{hélices})] = F_T \max[\overline{V_{C,hélices\ trans\ fondo\ marino}}]$$

Siendo:

F_T : Factor de turbulencia. De acuerdo con mediciones realizadas en modelos experimentales, puede adoptarse 2 como valor de este factor (adimensional).

$\max[\overline{V_{C,hélices\ trans\ fondo\ marino}}]$: Máxima velocidad media axial en el fondo marino, en m/s. Puede aproximarse mediante la siguiente formulación:

$$\max[\overline{V_{C,hélices\ trans\ fondo\ marino}}] = C_3 \cdot \overline{V_{C,htrans,h0}} \cdot \frac{D_0}{l_h + h_h}, \text{ para } \frac{l_h}{h_h} \geq 1,8$$

Siendo:

D_0 : diámetro interior de la boca del túnel en el que se encuentran instaladas las hélices transversales, en m. Cuando dicho diámetro no sea conocido puede estimarse considerando que el diámetro usual puede ajustarse a la siguiente relación, en función del tonelaje de peso muerto del buque:

$$D_0 = 1,75 \cdot 10^{-5} \cdot \text{TPM} + 1,50, \text{ para } D_0 \text{ en m y TPM (Tonelaje de Peso Muerto del buque), en t.}$$

h_h : distancia vertical entre el eje de la hélice y el fondo marino, en m. Cuando esta distancia en una determinada condición de trabajo no sea conocida puede determinarse a partir de la formulación del calado total incluida en la Parte 7 de la ROM 3.I-99, considerando que la distancia usual entre el eje de las hélices y la quilla del buque es del orden de $3D_0/2$.

l_h : en el caso de línea de atraque perpendicular al eje de las hélices, distancia horizontal entre la boca del túnel en el que se encuentran instaladas las hélices transversales y el paramento de la obra de atraque en el caso de obras de atraque fijas cerradas o el talud de protección en el caso de obras de atraque fijas abiertas, medida en el eje de las hélices en m. Para la determinación de esta distancia, a falta de datos más precisos puede considerarse que la boca del túnel se encuentra a una distancia aproximada de $0,15B$ del plano de crujía del buque, siendo B la manga del buque, y que el buque se encuentra en posición de atraque en contacto con la defensa en situación no deformada siempre y cuando esa posición de lugar a que l_h sea mayor o igual que $1,8h_h$. En caso contrario se adoptará $l_h = 1,8h_h$.

Definición de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices de los buques y embarcaciones auxiliares en el fondo marino durante las operaciones de atraque y desatraque o durante la permanencia de los buques en el atraque cuando se considere la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre (continuación)

<p>$\bar{V}_{C,htans,h}0$: velocidad del chorro en la boca del túnel en el que se encuentran instaladas las hélices ($x = 0, z = 0$), en m/s. Puede adoptarse como:</p> $\bar{V}_{C,htans,h}0 = 1,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{htans}}{\rho_w \cdot D_0^2}}$ <p>P_{htans} : potencia instalada del sistema de propulsión de las hélices transversales, en W. En estos casos, para las maniobras de atraque y desatraque se utiliza usualmente la totalidad de la potencia instalada. A falta de datos más precisos, dicha potencia puede estimarse considerando que puede ajustarse a la siguiente relación en función del tonelaje de peso muerto del buque: $P_{htans} = 3 \cdot 10^{-2} \cdot TPM$, para P_{htans} en kW y TPM en t. adoptándose como mínimo una potencia de 750 kW. ρ_w: densidad del agua, en kg/m^3 (Ver apartado 4.5).</p> <p>C_3 : factor de confinamiento del flujo por efecto del fondo marino y la obra de atraque (adimensional). De acuerdo con mediciones realizadas en modelos experimentales, puede adoptarse 2.8 como valor de este factor cuando el eje de las hélices es perpendicular a la línea de atraque.</p> <p>Dentro del campo de validez establecido para esta formulación, puede considerarse que la máxima velocidad axial en el fondo marino debida a la corriente generada por hélices transversales a proa o popa se produce en la zona de contacto entre la obra de atraque y amarre y el fondo marino, siempre y cuando l_h no sea mayor que $10h_h$.</p>

Para la determinación de la máxima velocidad de la corriente en el fondo marino generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques se considerará que el factor predominante es la composición, características y situación de carga de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, con las embarcaciones auxiliares que, en su caso y de acuerdo con los criterios de explotación de la instalación, se utilicen para cada buque en cada condición de trabajo en las operaciones de atraque y desatraque o como parte de la configuración del sistema de amarre. Este factor se definirá, si es posible, a través de la función de distribución conjunta del calado estático y de las características del sistema de propulsión y maniobra utilizados por los buques y embarcaciones auxiliares durante dichas operaciones (Ver apartado 4.6.4.4.1).

Cuando la flota de buques esperable en el atraque esté formada por buques y embarcaciones auxiliares de características diferentes deberá definirse la variable “máxima velocidad horizontal de la corriente en el fondo marino” para cada buque y, en su caso, embarcación auxiliar, en las diferentes situaciones de carga de los mismos, en cada una de las condiciones de trabajo en las que se puede realizar la maniobra de atraque de atraque o desatraque o en las que embarcaciones auxiliares formen parte de la configuración del sistema de amarre del buque considerado. En este sentido, durante dichas operaciones el buque o embarcación de mayor calado no debe conducir necesariamente a la mayor corriente generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra en el fondo marino en la medida en que las características del sistema de propulsión y maniobra utilizado pueden ser más desfavorables a estos efectos en buques o embarcaciones de menor calado. De igual forma el desarrollo de la maniobra de atraque y desatraque con o sin medios auxiliares (remolcadores) puede ser relevante para la valoración de la potencia utilizada del sistema de propulsión durante la maniobra o, incluso, al poder producir los remolcadores mayores corrientes sobre el fondo marino que el propio buque ⁽⁸⁷⁾.

Si el Promotor de la instalación no está en condiciones de precisar de forma fiable, completa y suficiente la composición y características de la flota de buques esperable en el atraque o está definida por medio de un único parámetro representativo a través de las funciones de distribución marginales o de los buques de proyecto correspondientes a dicho parámetro, se estará a lo dispuesto para estos casos en el apartado 4.6.4.4.1 para asignar a cada

(87) Para la definición de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices de los remolcadores en el fondo marino no serán de aplicación las formulas simplificadas incluidas en la tabla 4.6.4.45 en lo referente a la estimación del diámetro de las hélices y del chorro, así como de la potencia instalada y utilizada en función del tamaño y tipo de buque. En ausencia de datos más precisos, los valores usuales en estos casos se incluyen en la ROM 3.1-99.

buque, en su caso, el calado estático en las situaciones de carga en la que puede encontrarse el buque en el atraque y sus otros parámetros representativos necesarios para la determinación de la variable de estado adoptada para la definición de este agente. En los casos en los que no estén específicamente definidas las características del sistema de propulsión y maniobra correspondiente a cada buque podrán estimarse de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.45 para la hélice de popa y, en su caso, para las hélices transversales en proa o popa. En ausencia de más información se considerará que están provistos de hélices transversales los buques que, en función del uso establecido para la obra de atraque, puedan ser de los siguientes tipos: portacontenedores, ro-ro, ferries y buques de guerra.

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación del modo de fallo adscrito a estados límite últimos “socavación, erosión y acumulación”, el agente “corrientes generadas por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques” se definirá:

a) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas

Para cada buque, y en su caso embarcación auxiliar para la realización de las maniobras de atraque y desatraque o para la permanencia del buque en el atraque, perteneciente a la flota esperable en el atraque y situación de carga del mismo, el valor representativo de la máxima velocidad de la corriente generada por la acción de las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra en el fondo marino en condiciones normales operativas se definirá como el valor más desfavorable obtenido introduciendo en la formulación incluida en la tabla 4.6.4.45 los valores representativos de cada uno de los factores que intervienen en la misma en cada una de las condiciones de trabajo operativas en las que se realizan operaciones de atraque y desatraque, así como en las correspondientes a la permanencia del buque en el atraque en aquellos casos en los que embarcaciones auxiliares formen parte de la configuración y características del sistema de amarre, considerando sucesivamente como variable predominante cada una de las variables de los agentes atmosféricos básicos y climáticos marinos que actúan simultáneamente en dichas condiciones de trabajo. La definición de las condiciones de simultaneidad y de los valores representativos compatibles de los agentes y factores en cada uno de dichas condiciones de trabajo se incluye en el apartado 4.1.1 y más detalladamente en los apartados 4.6.4.4.2, 4.6.4.4.3 y 4.6.4.4.7.

En general, salvo en los casos en los que las condiciones climáticas límite para la realización de las maniobras de atraque y desatraque adoptadas para el buque considerado se clasifiquen como desfavorables de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.36, así como cuando, considerando la participación de embarcaciones auxiliares como parte del sistema de amarre, las condiciones climáticas límite para la permanencia del buque en el atraque se clasifiquen como tipo III de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.45, será suficiente considerar a estos efectos como estado meteorológico representativo de cada condición de trabajo el correspondiente a la adopción del nivel inferior de las aguas exteriores como variable climática predominante, al tener en este caso muy poca incidencia los aumentos de calado del buque respecto a su calado estático por el efecto de la actuación de los otros agentes climáticos.

De acuerdo con ese criterio y en los casos en los que sea de aplicación, si un valor umbral del nivel bajo de las aguas exteriores está establecido como una de las causas de paralización de la instalación a los efectos de las operaciones de atraque o desatraque o, en su caso, de la permanencia del buque en el atraque, se adoptarán estos niveles para la definición de los valores representativos de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques en el fondo marino correspondientes a dichas condiciones de trabajo. Si el nivel inferior de las aguas exteriores no es causa de paralización de las citadas operaciones, el valor representativo del nivel inferior de las aguas exteriores a considerar para la definición del valor representativo de la máxima velocidad de la corriente en el fondo generada por el buque en condiciones de trabajo operativas será el valor de compatibilidad con el valor adoptado para los agentes climáticos que limitan la operatividad en cada una de las condiciones de trabajo operativas que deban considerarse.

En este último caso, deberá determinarse el valor representativo de la máxima velocidad de la corriente generada en el fondo también en condiciones de trabajo extremas y excepcionales, considerando el nivel inferior de las aguas exteriores como variable predominante para la definición del estado meteorológico de pro-

yecto en estas condiciones de trabajo (Ver acciones de atraque y acciones de amarre en condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario. Apartados 4.6.4.4.3. y 4.6.4.4.7). A estos efectos, para probabilidades de fallo menores o iguales al 5%, se adoptará como valor representativo del nivel bajo de las aguas exteriores en condiciones extremas el correspondiente a un periodo de retorno de 50 años y en condiciones excepcionales el correspondiente a un periodo de retorno de 500 años y como valores representativos del resto de agentes climáticos los valores de compatibilidad definidos respectivamente para cada una de dichas condiciones (ver tabla 4.6.2.2.), los cuales no deberán tomarse mayores que los umbrales de los mismos que, en su caso, hayan sido adoptados como límites de operatividad de las operaciones de atraque y desatraque y, en su caso, de permanencia del buque en el atraque.

El valor característico de la máxima velocidad horizontal de la corriente generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques en el fondo marino en cada condición de trabajo será el mayor de los valores representativos de la máxima velocidad de la corriente obtenidos en la condición de trabajo considerada, para cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga de los mismos, tomando en consideración, en su caso, las embarcaciones auxiliares que intervienen en las maniobra de atraque y desatraque o que formen parte de la configuración del sistema de amarre.

Los valores representativos de la máxima velocidad de la corriente generada en el fondo marino por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques y, en su caso, de las embarcaciones auxiliares en las condiciones de trabajo en que se realizan las operaciones de atraque y desatraque o, en su caso, durante la permanencia del buque en el atraque se resumen en la tabla 4.6.4.46.

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en una determinada condición de trabajo, cuando se tome en consideración la incidencia en los mismos de la profundidad de socavación debida a las corrientes generadas por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques, se tomará como valor representativo de dicha profundidad el determinado considerando como valor representativo de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques en el fondo marino su valor característico en la condición de trabajo considerada, definido de acuerdo con lo dispuesto en este apartado.

Tabla 4.6.4.46. Valores representativos de la máxima velocidad para las corrientes generadas en el fondo marino por la acción de las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques y embarcaciones auxiliares durante las operaciones de atraque y desatraque o, en el caso de que se utilicen embarcaciones auxiliares como configuración del sistema de amarre, durante la permanencia del buque en el atraque (para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos o de servicio con probabilidades de fallo menores del 5%)

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
En cada condición de trabajo, el mayor valor de la velocidad de la corriente generada por la acción de las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra en el fondo marino de entre las correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque en la condición de trabajo considerada, tomando en consideración, en su caso, las embarcaciones auxiliares que intervienen en las mismas. Los valores de dicha velocidad se obtendrán introduciendo en la formulación los valores representativos de cada uno de los factores y agentes que intervienen en la determinación de la misma, considerando los estados meteorológicos representativos correspondientes a los estados límite en dicha condición de trabajo.			—	—
En los casos en los que las condiciones climáticas límite para la realización de las maniobras de atraque y desatraque adoptadas para el buque considerado no se clasifiquen como desfavorables de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.36, así como cuando, considerando la participación de embarcaciones auxiliares como parte del sistema de amarre, las condiciones climáticas límite para la permanencia del buque en el atraque no se clasifiquen como tipo III de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.45, se considerará a estos efectos como estados meteorológicos representativos de cada condición de trabajo los definidos por los siguientes valores representativos del nivel inferior de las aguas exteriores:				

Valores representativos de la máxima velocidad de la corriente generada en el fondo marino por la acción de las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques y embarcaciones auxiliares durante las operaciones de atraque y desatraque o, en el caso de que se utilicen embarcaciones auxiliares como configuración del sistema de amarre, durante la permanencia del buque en el atraque (para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos o de servicio con probabilidades de fallo menores del 5 %) (continuación)

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR REPRESENTATIVO DEL NIVEL INFERIOR DE LAS AGUAS EXTERIORES A ADOPTAR	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes a la realización de las operaciones de atraque y desatraque en condiciones normales (CT1,3)	<ul style="list-style-type: none"> – En los casos en los que esté establecido el nivel inferior de las aguas exteriores como causa de paralización de las operaciones de atraque y desatraque, se considerará el nivel inferior de las aguas exteriores como variable climático predominante, adoptándose como valor representativo de la misma el valor umbral del nivel inferior de las aguas exteriores límite de operatividad – En los casos en los que no esté establecida esta variable como causa de paralización de las operaciones de atraque y desatraque, se adoptará como valor representativo del nivel inferior de las aguas exteriores el valor de compatibilidad con el valor adoptado para los agentes climáticos que limitan las operaciones de atraque y desatraque. 	—	—
Condiciones de Trabajo Normales Operativas correspondientes a la permanencia del buque en el atraque ¹⁾ (CT1,1)	<ul style="list-style-type: none"> – En los casos en los que esté establecido el nivel inferior de las aguas exteriores como causa de la suspensión de la permanencia del buque en el atraque, se considerará el nivel inferior de las aguas exteriores como variable climático predominante, adoptándose como valor representativo de la misma el valor umbral del nivel inferior de las aguas exteriores límite de operatividad – En los casos en los que no esté establecida esta variable como causa de la suspensión de la permanencia del buque en el atraque, se adoptará como valor representativo del nivel inferior de las aguas exteriores el valor de compatibilidad con el valor adoptado para los agentes climáticos que limitan la permanencia del buque en el atraque. 	—	—
Condiciones de Trabajo Extremas ²⁾ (CT2)	<ul style="list-style-type: none"> – En el caso en los que no esté establecido el nivel inferior de las aguas exteriores como causa de paralización de las operaciones de atraque y desatraque o, en su caso, de suspensión de la permanencia del buque en el atraque, el valor representativo del nivel inferior de las aguas exteriores será el correspondiente a un periodo de retorno de 50 años. – En los casos en los que no esté establecida esta variable como causa de paralización de las operaciones de atraque y desatraque o, en su caso, de suspensión de la permanencia del buque en el atraque, pero otra variable de un agente del medio físico no sea causa de paralización de las citadas operaciones, el valor representativo del nivel inferior de las aguas exteriores será el valor de compatibilidad en esta condición de trabajo (periodo de retorno de 5 años si se considera el nivel de las aguas como agente independiente del que define el estado meteorológico extremal considerado). 	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario (CT3,1)	<ul style="list-style-type: none"> – En el caso de que no esté establecido el nivel inferior de las aguas exteriores como causa de paralización de las operaciones de atraque y desatraque o, en su caso, de suspensión de la permanencia del buque en el atraque, el valor representativo del nivel inferior de las aguas exteriores será el correspondiente a un periodo de retorno de 500 años. – En los casos en los que no esté establecida esta variable como causa de paralización de las operaciones de atraque y desatraque o, en su caso, de suspensión de la permanencia del buque en el atraque, pero otra variable de un agente del medio físico no sea causa de paralización de las citadas operaciones, el valor representativo del nivel inferior de las aguas exteriores será el valor de compatibilidad en esta condición de trabajo (probabilidad anual de no excedencia del 85% en el régimen medio). 		

Valores representativos de la máxima velocidad de la corriente generada en el fondo marino por la acción de las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques y embarcaciones auxiliares durante las operaciones de atraque y desatraque o, en el caso de que se utilicen embarcaciones auxiliares como configuración del sistema de amarre, durante la permanencia del buque en el atraque (para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos o de servicio con probabilidades de fallo menores del 5 %) (continuación)

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR REPRESENTATIVO DEL NIVEL INFERIOR DE LAS AGUAS EXTERIORES A ADOPTAR	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea agente climático extraordinario (CT3,2)	—	—	—
Condiciones de Trabajo Extremas o Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	—	—	—
Notas			
1) La condición de trabajo operativa correspondiente a la permanencia del buque en el atraque se tomará únicamente en consideración en aquellos casos en los que se considere la permanencia del buque en el atraque con la utilización de embarcaciones auxiliares como parte de la configuración del sistema de amarre. 2) Se considerará la condición de trabajo extrema y excepcional únicamente si el nivel inferior de las aguas exteriores u otra variable de un agente del medio físico no es causa de paralización de las operaciones de atraque y desatraque o, en su caso, de suspensión de la permanencia del buque en el atraque.			

a) Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación, para cada tipo y situación de carga del buque, la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques en el fondo marino en las condiciones de trabajo que se consideren, se definirá por medio de la función de distribución obtenida como función derivada de las funciones de distribución de los factores de la que depende en la correspondiente condición de trabajo, obtenida a través de la aplicación de la formulación analítica incluida en la tabla 4.6.4.45 de esta Recomendación, tomando en consideración los factores incluidos en la formulación que pueden considerarse simplificadaamente que se comportan como deterministas y aquéllos que tienen relaciones de dependencia entre sí. Si no hay suficientes datos se considerará a estos efectos que todos los factores que intervienen en la formulación son deterministas, salvo el factor h_h (distancia vertical entre el eje de la hélice y el fondo marino). Son, por tanto, las características de variabilidad de este factor las que definen la variabilidad de la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de un buque en el fondo marino.

En particular, en los casos en los que las condiciones climáticas límite para la realización de las maniobras de atraque y desatraque adoptadas para el buque considerado no se clasifiquen como desfavorables de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.36., así como cuando, considerando la participación de embarcaciones auxiliares como parte del sistema de amarre, las condiciones climáticas límite para la permanencia del buque en el atraque no se clasifiquen como tipo III de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.45, podrá considerarse simplificadaamente que la variabilidad del factor h_h en una condición de trabajo está definida por la variabilidad del nivel inferior de las aguas exteriores en dicha condición de trabajo. Es decir, para condiciones de trabajo operativas, por el régimen medio anual de dicha variable, truncado por el umbral de operatividad en el caso de que el nivel inferior de las aguas exteriores sea causa de paralización de las operaciones correspondientes a la condición de trabajo considerada, así como, en el caso de que sean de aplicación condiciones extremas y excepcionales asociadas al nivel inferior de las aguas exteriores por no ser esta variable causa de paralización operativa, por el régimen extremal.

En los casos en los que las condiciones climáticas límite para la realización de las maniobras de atraque y desatraque adoptadas para el buque considerado se clasifiquen como desfavorables, así como cuando, considerando la participación de embarcaciones auxiliares como parte del sistema de amarre, las condiciones climáticas límite para la permanencia del buque en el atraque se clasifiquen como tipo III, la función de distribución de h_h en condiciones de trabajo operativas se definirá a partir de los regímenes medios anuales marginales de cada variable del medio físico independiente y por las distribuciones de las variables dependientes condicionadas a cada valor de la variable de la que dependen, truncadas, en su caso, por los umbrales de operatividad establecidos para las mismas en la condición de trabajo considerada. De igual forma, cuando deban considerarse condiciones extremas y extraordinarias asociadas a una variable por no ser esta variable causa de paralización operativa, la función de distribución de h_h se definirá a partir del régimen extremal marginal de dicha variable, por los regímenes extremos de las variables independientes de ésta, truncados en su caso, por los límites de operatividad definidos para las condiciones de trabajo operativas, y por las distribuciones de las variables dependientes, condicionadas a cada valor de la variable de la que dependen.

En los casos en que pueda justificarse mediante estudios específicos (p.e. mediante modelos analíticos, numéricos, experimentales o en prototipo, análisis de experiencias reales, etc.) que la profundidad de socavación o la erosión del talud y las zonas de acumulación asociadas con dichos procesos están acotadas en un determinado rango de profundidades y con una determinada forma, para la flota esperable de buques en el atraque y en las condiciones de explotación establecidas para las maniobras de atraque y desatraque y, en su caso, para la permanencia en el atraque, no se considerará necesario, aunque sí recomendable, la incorporación de elementos específicos de protección. En los casos en los que no se incluyan elementos de protección, deberá tomarse en consideración la incidencia de dicha profundidad de socavación, de la forma de la erosión y de las alturas de acumulación cuando sean desfavorables, para la verificación de todos los modos de fallo y parada, en todas las condiciones de trabajo correspondientes a la fase de servicio, por medio de la definición de nuevos valores nominales para los parámetros geométricos del terreno y de la obra de atraque de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.2 de esta Recomendación ⁽⁸⁸⁾.

4.6.4.4.5.2. Velocidad horizontal de la corriente en el fondo marino mínima

En previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación de la obra de atraque y amarre y de las incorporaciones o mejoras previsibles en los sistemas de previsión y maniobra de algunas tipologías de buques durante la vida útil de la obra, así como de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, es recomendable que para las obras de atraque para **usos comerciales de contenedores, ro-ro, ferris y multipropósito y para usos militares, así como para usos industriales equivalentes a los comerciales citados**, se considere a los efectos de definir la máxima velocidad de la corriente generada por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques en el fondo marino que los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque disponen todos de hélices transversales y que pueden utilizarlas como ayuda durante las maniobras de atraque y desatraque, con las limitaciones de potencia que, en su caso, pudieran establecer los criterios de explotación de la instalación. Lo anterior

(88) Las limitaciones actualmente existentes asociadas con la validez de los modelos analíticos disponibles para la cuantificación de la profundidad máxima de remoción del terreno de fondo por la acción de las corrientes generadas por los buques (ver apartado 4.2.3.7 de la ROM 0.5-05) y dadas las dificultades existentes para la reproducción y escalado de estos efectos con modelos físicos o para la extrapolación de experiencias reales o en prototipo a las condiciones de proyecto por la cantidad de factores que intervienen en el fenómeno, la determinación de una profundidad de socavación límite no progresiva debida a las corrientes generadas por hélices, asociada a un tipo de terreno, a una determinada flota de buques y a unas condiciones de explotación establecidas para el atraque y desatraque o para la permanencia del buque el atraque, así como de la altura de acumulación relacionada con este proceso, está sujeta a muchas incertidumbres. Por dichas razones, salvo petición expresa del Promotor se recomienda no admitir socavaciones de fondo o erosiones de talud debidas a esta causa en las proximidades de las obras de atraque y, por tanto, el estricto cumplimiento del estado límite de socavación o erosión por hélices en las condiciones de trabajo que sean de aplicación (condición nominal de no fallo; es decir $p_f < 10^{-4}$). En el caso de que estos efectos se admitieran por considerar su estabilización durante la vida útil, deberá incluirse en las condiciones de explotación de la instalación de atraque la realización periódica de sondeos para verificar que la profundidad de las socavaciones y la altura de las acumulaciones se encuentra en todo momento dentro de los límites considerados, procediéndose en caso contrario a la restauración de niveles.

se establece sin perjuicio de tener que tomar en consideración los efectos debidos a las hélices de los remolcadores en aquellos casos en los que los criterios de explotación de la instalación establezcan que las maniobras de atraque y desatraque o la permanencia del buque en el atraque se realicen con ayuda de remolcadores.

4.6.4.4.6. ACCIONES DEBIDAS A LOS PORTALONES DEL BUQUE ($q_{v,45}$)

Estas acciones son las cargas transmitidas por los portalones de los buques tipo ro-ro, ro-pax, con-ro, ferries y transportadores de coches, situados bien a proa o popa, bien laterales o a $\frac{3}{4}$ del buque, al apoyarse sobre las zonas de las obras de atraque y amarre, y particularmente de tacones y rampas auxiliares, establecidas para ello, cuando se realizan las operaciones de carga y descarga del buque por medios rodantes.

Estas acciones dependen fundamentalmente del tamaño y peso del portalón del buque, así como del tipo y características de la mercancía a manipular, de los elementos de transporte y de los medios de manipulación rodantes, en su caso, utilizados y de los criterios operativos establecidos para la carga y descarga del mismo, los cuales deben ser compatibles con la capacidad de carga admisible del portalón del buque (Safe Working Load-SWL).

Las acciones debidas a los portalones del buque pueden definirse como acciones vectoriales variables con las siguientes componentes:

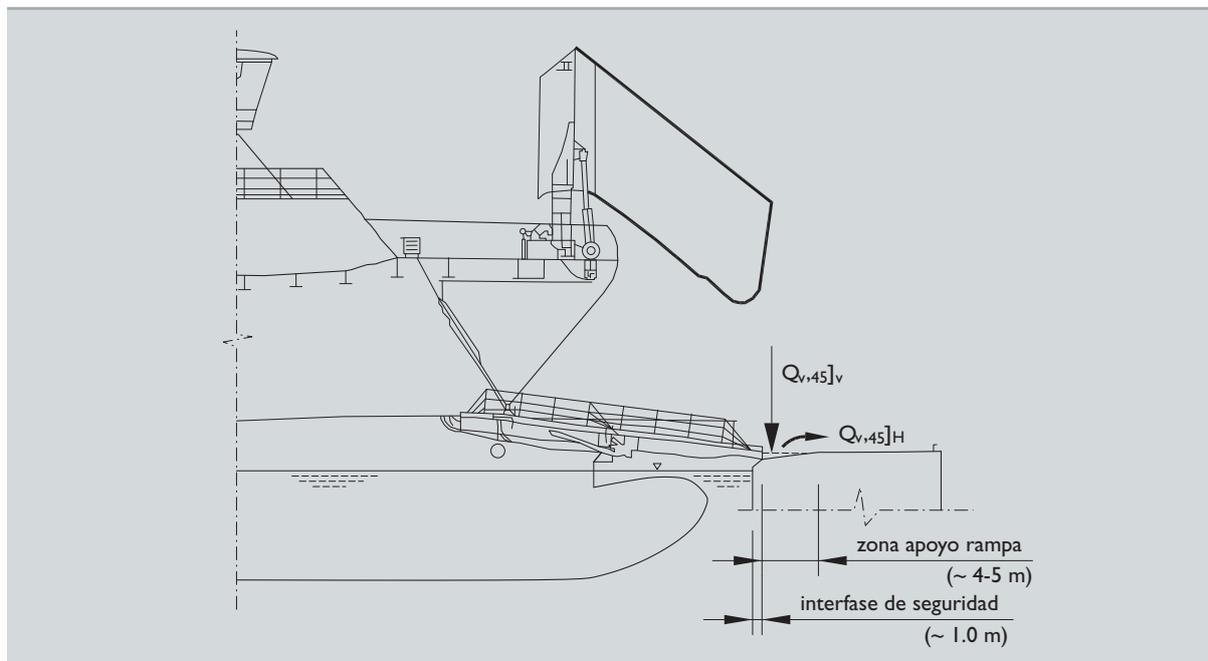
- ◆ Fuerza vertical lineal, contenida en el plano perpendicular al eje del portalón del buque en la zona de contacto entre el portalón del buque y la obra de atraque o el tacón o rampa auxiliar ($Q_{v,45|V}$).
- ◆ Fuerza lineal debida al rozamiento que se produce entre la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar y el portalón del buque debida a los movimientos del buque atracado. Se considera aplicada en la superficie de contacto entre la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar y el portalón del buque. Dada la pendiente máxima recomendada para la zona reservada para el apoyo del portalón del buque en tacones y rampas auxiliares (12,5%), simplificada puede tomarse en consideración únicamente la componente horizontal de dicha fuerza ($Q_{v,45|H}$). Esta fuerza de rozamiento se considerará de actuación simultánea con la fuerza vertical lineal y dependiente de la misma. Su dirección y sentido de actuación pueden ser cualquiera en el plano de actuación ⁽⁸⁹⁾.

Debido a las características de rigidez torsional de los portalones de los buques y a los movimientos admisibles de los buques durante las operaciones de carga y descarga, estas fuerzas no tienen que ser necesariamente uniformes en toda la zona de contacto entre el portalón del buque y la obra de atraque. No obstante, por las características resistentes, de rigidez y de sustentación exigidas por la normativa para los portalones de los buques, los cuales de acuerdo con la misma deben mantener apoyada en la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar la totalidad del extremo del mismo durante las condiciones de trabajo correspondientes a las operaciones de carga y descarga del buque, tomando en consideración su capacidad de carga y los máximos movimientos admisibles del buque en esta condición de trabajo (Ver tabla 4.6.4.22), se considerará en condiciones de trabajo normales operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga que las acciones debidas a los portalones del buque actúan sobre la totalidad del ancho de dicho portalón de una forma uniforme cuando se considera la máxima capacidad de carga admisible actuando sobre el portalón (Ver figura 4.6.4.28). Independientemente de lo anterior, para verificaciones de modos de fallo adscritos a estados límite últimos con probabilidades de fallo menores del 5%, deberá considerarse como condición de trabajo excepcional la posibilidad de que la actuación de la carga debida al portalón del buque sea trapezoidal, triangular o se distribuya en parte del ancho del mismo, incluso llegando en el límite a ser una carga puntual, en razón de la capacidad de torsión del portalón en relación con movimientos del buque o escoras extraordinarios por cualquier causa, supe-

(89) La definición de las acciones debidas a los portalones del buque como fuerzas lineales responden exactamente al funcionamiento de los portalones de proa y popa, así como de las rampas laterales, al transmitirse dichas cargas a través del apoyo del extremo de su estructura resistente, no contribuyendo los alerones (*flaps*) a la transmisión de cargas, con excepción de su propio peso. En el caso de los portalones $\frac{3}{4}$ la transmisión de cargas se realiza a través de los alerones (*flaps*), por lo que las acciones debidas a los portalones no son en este caso cargas lineales sino cargas superficiales. No obstante, del lado de la seguridad, es admisible considerar simplificada también para este tipo de portalones que las acciones transmitidas por éstos son cargas lineales.

rios a los máximos admisibles para la realización de las operaciones de carga y descarga durante la realización de dichas operaciones.

Figura 4.6.4.28. Definición de las acciones debidas a las rampas o portones del buque



La presentación de las acciones debidas a portales del buque se tomarán en consideración en los estados representativos del ciclo de operatividad de la instalación de atraque correspondiente a las operaciones de carga y descarga cuando éstas se realicen por medios rodantes, así como en condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de un acción accidental que no sea un agente climático extraordinario y en condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica. No se considerarán en ningún otro estado representativo de otras condiciones de trabajo operativas por razones de incompatibilidad operativa. Tampoco se tomarán en consideración en condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, salvo que no se limiten las operaciones de carga y descarga del buque para alguno de dichos agentes. En los citados ciclos de solicitud, estas acciones se considerarán de actuación simultánea con los agentes de uso y explotación presentes en los mismos, así como con los agentes climáticos que definen los estados meteorológicos correspondientes a la condición de trabajo considerada.

Las acciones debidas a portales del buque se considerarán cargas compuestas al ser dependientes de otros agentes, en particular del buque, de las cargas transmitidas por sistemas discontinuos de carga y descarga del buque por rodadura (Ver apartado 4.6.4.2.1.2) y del tráfico terrestre (Ver apartado 4.6.4.3), por lo que pueden considerarse que están correlacionadas con dichos agentes en las condiciones de simultaneidad y compatibilidad establecidas para los mismos en cada una de las condiciones de trabajo en las que se considera su actuación. Simplificadamente podrán considerarse independientes de los agentes climáticos. Para la determinación de esta acción se considerará que el factor predominante es la composición y características de la flota de buques previstas en el atraque, considerando como parámetros representativos de la misma la posición, dimensiones, peso y capacidad de carga admisible de sus portales, definidos por el Promotor de la instalación de acuerdo con lo señalado a estos efectos en el apartado 4.6.4.4.1. Definición de la flota de buques en el atraque. Buques de proyecto, una vez consultada la capacidad de carga de los portales de los buques esperables en el atraque ⁽⁹⁰⁾. El resto de agen-

(90) En general los portales de los buques llevan pintado en lugar visible la máxima carga admisible por eje y la máxima carga total admisible.

tes que intervienen en la determinación de la acción podrán considerarse a estos efectos en general independientes del buque, al ser normalmente los equipos de manipulación por rodadura establecidos por el Promotor para su utilización en todos y cada uno de los buques de la flota que admitan este sistema de manipulación por razones de eficacia y de eficiencia operativa de la instalación. Asimismo el Promotor normalmente establece con carácter general las limitaciones o restricciones, en su caso, al paso de un determinado tipo de tráfico terrestre. En caso contrario, estos agentes se considerarán dependientes del buque.

4.6.4.4.6.1. Características de los portalones de los buques

Para un misma tipología de buque (ro-ro, ferries, con-ro o transportadores de coches), las dimensiones, pesos y capacidad de carga admisible de los distintos tipos de portalones de los que disponen los buques son muy variables, presentando correlaciones muy diversas con los parámetros geométricos (manga, calado, ...) o de capacidad (tonelaje, desplazamiento máximo, arqueado bruto, ...), aunque se han establecido algunas relaciones al respecto asociadas con determinadas probabilidades de no excedencia para portalones situados en una misma posición en el buque (proa, popa, lateral o $\frac{3}{4}$).

Para portalones en popa, se puede considerar con carácter general, independientemente de la tipología del buque, la siguiente correlación entre manga (B) y ancho total de la rampa o rampas (w_r), aplicables a valores medios:

$$B - w_r = (4-12), \text{ para } w_r \text{ y } B \text{ en } m.$$

correspondiendo la mayor diferencia entre B y w_r a los buques a partir de 10.000 TPM y la menor a buques con menor tonelaje que el señalado o a buques que disponen de dos portalones.

La longitud (l_r) de este tipo de portalones sin incluir los alerones (*flaps*) se encuentra generalmente en el rango entre 10 y 25 metros. La longitud de los alerones está en la mayor parte de los casos en el entorno de los 1,50-3,00 metros, estando los valores mayores asociados a los portalones de mayor longitud.

Para los portalones situados en otras localizaciones no es factible definir correlaciones generalizables. En general, el ancho de los portalones laterales no suele ser superior a un carril (3,5 m). Los portalones $\frac{3}{4}$ presentan anchos muy variables a partir de 3,5 m y hasta del orden de los anchos comunes para los portalones de popa que le corresponderían en relación al tamaño del buque. La longitud de este último tipo de portalones suele ser mayor que la de los portalones de popa (del orden de un 30% más).

El peso propio de los portalones suele estar en el rango 3-4 kN/m².

Salvo en los buques que permitan el embarque de tráfico ferroviario, la capacidad de carga admisible (SWL) de los portalones de popa y proa es generalmente compatible con las cargas mínimas transmitidas por equipos sobre neumáticos, de movilidad no restringida, con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes establecidas en esta Recomendación para usos comerciales de mercancía general y pasajeros en los casos ro-ro, ferries y multipropósito (Ver apartado 4.6.4.2.1.2.1), así como con las cargas transmitidas por el tráfico viario (Ver apartado 4.6.4.3.1). Por tanto, la capacidad de carga admisible en este tipo de portalones no suele ser menor de 800-1000 kN por cada carril del portalón dependiendo de la longitud del portalón (Ver nota 3).

No obstante lo anterior, la capacidad de carga admisible de los portalones, independientemente de su localización, es generalmente coincidente con la mayor capacidad de carga de la cubierta del buque accesible a través de la misma. Por tanto son comunes capacidades de carga admisibles del orden de 20-30 kN/m² para los portalones de buques que no permiten el embarque de tráfico ferroviario y de 50 kN/m² para los que sí lo permiten.

4.6.4.4.6.2. Determinación de las acciones debidas a los portalones del buque

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las acciones debidas a los portalones del buque se definirán:

a) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas

Para formulaciones deterministas y deterministas-probabilistas, los valores representativos de las acciones debidas a portalones del buque en los diferentes ciclos de sollicitación en los que se considere la actuación de esta acción se obtendrán a partir de los valores representativos de las dimensiones de los portalones de los buques de la flota esperable en el atraque, del peso propio del portalón de dichos buques, de las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes previstas por el Promotor de la instalación para dicho buque y de las acciones debidas al tráfico terrestre que sean de aplicación en el ciclo de sollicitación considerado. En cualquier caso, las sobrecargas de uso y explotación consideradas deberán ser compatibles con la capacidad de carga admisible (SWL) de los portalones de los buques.

◆ Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos

- En condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado

Para cada tipo de buque esperable en el atraque, el valor representativo de la acción vertical debida a los portalones del buque en esta condición de trabajo se definirá como el valor más desfavorable para el elemento considerado y el modo de fallo analizado de la reacción vertical lineal producida por el portalón sobre la estructura de atraque, considerando las características resistentes y de sustentación del portalón en el buque, así como los valores representativos del peso propio del portalón (Ver apartado 4.6.1.1) y de las sobrecargas de manipulación de mercancías por rodadura o de tráfico terrestre que sean de aplicación en este ciclo de sollicitación, así como las condiciones de simultaneidad en función del número de carriles del portalón establecidos dependiendo del tipo de mercancía y de los equipos de manipulación previstos por el Promotor ⁽⁹¹⁾ y de las diferentes posiciones en las que estas sobrecargas pueden actuar en el portalón del buque (Ver apartados 4.6.4.2.1.2 y 4.6.4.3).

En este ciclo de sollicitación es admisible considerar que dicha reacción vertical lineal se reparte uniformemente a lo largo de todo el ancho del portalón del buque en la línea de contacto entre el mismo y la estructura de atraque. Para el cálculo de la reacción vertical, es admisible considerar que la rampa del buque se comporta como una viga biapoyada.

Si la capacidad de carga admisible del portalón del buque es conocida, simplifícadamente del lado de la seguridad, podrá considerarse que el valor representativo de la reacción vertical lineal uniforme ($q_{v,45]V}$), extendida a lo largo de la anchura del portalón, es equivalente a la mitad de la resultante del valor representativo del peso propio del portalón ($Q_{g,1]portalón}/2$) más la totalidad de la capacidad de carga admisible del portalón del buque ($Q_{adm]portalón}$), cuando ésta esté definida por medio de la carga máxima por eje admisible. Es decir:

$$q_{v,45]V} = \frac{Q_{v,45]V}}{w_r} = \frac{\frac{Q_{g,1]portalón}}{2} + Q_{adm]portalón}}{w_r}$$

(91) El número de carriles a considerar en un portalón dependerá de las mercancías a manipular y de los equipos de manipulación por rodadura, así como de los criterios de explotación y circuitos de circulación previstos por el Promotor y de los requerimientos de seguridad establecidos. Como orden de magnitud, en función de la anchura total del portalón (w_r) se considerarán el siguiente número de carriles:

- $w_r \leq 8,00$ m, un carril.
- $8,00$ m $>$ $w_r \leq 12,00$ m, dos carriles.
- $12,00$ m $>$ $w_r \leq 16,00$ m, tres carriles.
- $16,00$ m $>$ w_r , cuatro carriles.

Si se considera únicamente la carga y descarga de vehículos automóviles, tanto en régimen de mercancía como de pasaje, podrán reducirse los valores superiores e inferiores de los anteriores intervalos en 1,00 m por carril. Asimismo cuando se prevea la utilización de carretillas elevadoras frontales para la carga y descarga de mercancías del buque, deberán aumentarse los valores inferiores y superiores de los anteriores intervalos en 8,00 m por carril.

Cuando la carga admisible esté definida a través de la carga máxima total admisible, la reacción máxima que transmite el portalón a la estructura por este concepto se obtendrá por aplicación del modelo de viga biapoyada, considerando la posición más desfavorable a estos efectos de dicha carga con la distribución correspondiente a las sobrecargas de manipulación y de tráfico terrestre consideradas. Cuando la carga admisible se define tanto a través de la carga máxima por eje como de la carga máxima total, se considerará la que da lugar a la reacción más desfavorable.

El valor representativo de la acción horizontal lineal debida a los portalones, de actuación simultánea con la acción vertical producida por los mismos, está correlacionado con el valor representativo adoptado para ésta última a través del coeficiente de rozamiento entre el portalón del buque y obra de atraque en la zona de contacto.

$$q_{v,45}H = \mu_r \cdot q_{v,45}V$$

Este coeficiente de rozamiento se considerará de carácter permanente y se definirá a través de un valor nominal. A falta de información más detallada, puede adoptarse de forma general 0,3 como valor nominal de dicho parámetro.

Las acciones lineales debidas a los portalones del buque deberán aplicarse en la posición más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado, manteniéndose en el interior de la zona de la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar reservada para el apoyo del portalón del buque. En el caso de los portalones de proa y popa, así como en el caso de los portalones laterales la dirección de aplicación será en cualquier caso paralela al cantil de la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar. En el caso de portalones $\frac{3}{4}$, la dirección de aplicación será la perpendicular al eje del portalón, considerando todas las posiciones que en su caso éste pueda tomar ⁽⁹²⁾.

Para los portalones de proa y popa, la zona reservada para el apoyo de la rampa del buque es generalmente una franja paralela al cantil o borde exterior de la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar con un ancho recomendable entre 4 y 5 metros, medido desde el borde interior de la interfase de seguridad (Ver figura 4.6.4.28). Para los portalones laterales y las rampas $\frac{3}{4}$, el ancho reservado para el apoyo del portalón del buque es como mínimo el recomendado para los portalones de proa y popa, aunque puede ser mayor (hasta 20 m), dependiendo de la longitud e inclinación del portalón y de la distancia entre la línea de atraque y la línea de defensas sin comprimir. En todos los casos el ancho recomendable para la interfase de seguridad es de 1 m, medido desde el borde exterior de la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar. En buques con portalones múltiples se considerará, en el caso que sea desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado, la simultaneidad de actuación de las cargas lineales debidas a cada uno de los portalones.

En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías por medios rodantes y las debidas al tráfico terrestre se consideren independientes de la flota de buques esperable en el atraque de acuerdo con los criterios de explotación establecidos por el Promotor de la instalación, así como en el caso de que el valor representativo de la acción debida a los portalones asociada con cada buque se defina simplíficadamente a través de la capacidad de carga admisible, el valor de compatibilidad de las acciones debidas a los portalones del buque en la condición de trabajo operativa correspondiente al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado (valor de combinación) será el más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre los valores representativos de dichas acciones asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, considerando las otras acciones de actuación simultánea en dicha condición de trabajo dependientes del buque (p. e. cargas de amarre) ⁽⁹³⁾. Para un determinado tipo de portalón

(92) En los portalones $\frac{3}{4}$ que no permitan cambios de dirección, el ángulo entre el eje del portalón y el eje longitudinal del buque suele estar en el rango 30°-40°.

(93) El valor de combinación de las acciones debidas a los portalones del buque y de las cargas de amarre en condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga deben estar asociadas con el mismo buque.

del buque, el valor de combinación de esta acción no tiene que estar necesariamente asociado con el buque de mayor desplazamiento de la flota esperable en el atraque, ya que buques de menor capacidad pueden tener portalones que transmitan mayores cargas en la medida en que la combinación de las dimensiones y peso del portalón y su capacidad de carga pueden ser más desfavorables en buques de menor tamaño.

En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías y las debidas al tráfico terrestre sean dependientes del buque, el valor de compatibilidad de las acciones debidas a los portones y el de las cargas de manipulación y tráfico deberán estar asociadas con el mismo buque, siendo éste el que tiene asociadas las cargas de actuación simultánea que producen los efectos más desfavorables para el elemento y modo de fallo considerado.

- *En condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de un agente climático de carácter extraordinario*

Únicamente se considerarán acciones debidas a portalones del buque en condiciones de trabajo extremas o excepcionales asociadas con la presentación de un determinado agente climático cuando las operaciones de carga y descarga por medios rodantes de alguno de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque no queden limitadas a partir de valor umbral de dicho agente.

El valor de compatibilidad de esta acción en estas condiciones de trabajo (valor de combinación) será el mismo que el adoptado para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, tomando en consideración únicamente los buques de la flota esperable en el atraque cuyas operaciones de carga y descarga no queden limitadas a partir de un valor umbral del agente climático que define las condiciones extremas y excepcionales consideradas.

- *En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de las acciones debidas a los portalones del buque de carácter extraordinario*

En previsión de posibles apoyos desiguales del portalón del buque debidos, entre otras causas, a la presentación de movimientos o escoras del buque extraordinarios por cualquier causa, superiores a los máximos admisibles para la realización de las operaciones de cargas y descarga durante la realización de dichas operaciones, para verificaciones de modos de fallo con probabilidades menores del 5% deberá considerarse como condición de trabajo excepcional la posibilidad de que la carga debida al portalón del buque sea una carga puntual concentrada. Para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo mayores o iguales al 5% no se considerará esta condición de trabajo.

Esta carga es la acción predominante de la condición de trabajo excepcional asociada con su actuación, definiendo un estado límite de proyecto.

Para cada tipo de buque esperable en el atraque, el valor representativo de las acciones debidas a los portalones del buque de carácter extraordinario se definirá a partir del valor representativo de las acciones debidas a los portalones del buque en condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, multiplicando dicho valor por el ancho total del portalón o portalones del buque considerado (w_r).

En el caso de que la capacidad de carga admisible del portalón del buque sea conocida y esté definida por medio de la carga máxima por eje admisible, podrán considerarse simplíficamente como valores representativos de las acciones debidas a los portalones del buque de carácter extraordinario correspondientes a dicho buque los siguientes:

$$Q_{v,45]V|extraordinario} = \frac{Q_{g,1]portalón}}{2} + Q_{adm]portalón}; \quad Q_{v,45]H|extraordinario} = \mu_r \cdot Q_{v,45]V|extraordinario}$$

Cuando la carga admisible esté definida a través de la máxima carga total admisible, la reacción puntual que transmite el portalón a la estructura por este concepto se obtendrá por aplicación del modelo de viga biapoyada, considerando la posición más desfavorable a estos efectos de dicha carga con la distribución correspondiente a las sobrecarga de manipulación y de tráfico terrestre consideradas. Cuando la carga admisible se define tanto a través de la carga máxima por eje como de la carga máxima total, se considerará la que da lugar a la reacción más desfavorable.

Las acciones concentradas debidas a los portalones del buque de carácter extraordinario se aplicarán en la posición más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado, manteniéndose en el interior de la zona de la obra de atraque, tacón o rampa auxiliar reservada para el apoyo del portalón del buque de igual forma que lo dispuesto a estos efectos para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado.

En buques con portalones múltiples se considerará, en el caso de que sea desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado, la simultaneidad de actuación de las cargas concentradas correspondientes a cada uno de los portalones.

El valor característico de las acciones debidas a los portalones de buque en esta condición de trabajo extraordinaria será el valor más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre los valores representativos de dichas acciones en dicha condición de trabajo asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque.

- *En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico*

Para cada tipo de buque esperable en el atraque, el valor representativo de la acción vertical debida a los portalones del buque en esta condición de trabajo se definirá como el valor más desfavorable para el elemento considerado y el modo de fallo analizado de la reacción vertical lineal producida por el portalón sobre la estructura de atraque, considerando las características resistentes y de sustentación del portalón del buque, el valor representativo del peso propio del portalón y el valor cuasi-permanente de las sobrecargas de manipulación de mercancías por rodadura o de tráfico terrestre que se consideren de acuerdo con los criterios de explotación establecidos por el Promotor, así como las condiciones de simultaneidad en función del número de carriles del portalón y de las diferentes posiciones en las que estas sobrecargas pueden actuar en el portalón del buque. La definición del valor cuasi-permanente de las sobrecargas de manipulación de mercancías por rodadura y de las cargas de tráfico se incluye, respectivamente, en los apartados 4.6.4.2.1.2 y 4.6.4.3 de esta Recomendación.

En este ciclo de sollicitación es admisible considerar que dicha reacción vertical lineal se reparte uniformemente a lo largo de todo el ancho de la rampa del buque de igual forma que lo dispuesto al respecto para condiciones de trabajo operativas correspondiente al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado.

Si la capacidad de carga admisible del portalón del buque es conocida y está definida por medio de la carga máxima por eje admisible, podrá considerarse simplificada que el valor representativo de la reacción vertical uniforme producida por la rampa del buque en condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático o sísmico es:

$$Q_{v,45]V|condiciones\ de\ trabajo\ excepcionales\ por\ acción\ accidental} = \frac{\frac{Q_{g,1]portalón}}{2} + 0,90 \cdot Q_{adm]portalón}}{w_r}$$

Cuando la carga admisible esté definida a través de la carga máxima total admisible la contribución de ésta al valor cuasipermanente de la reacción vertical uniforme se obtendrá por aplicación del modelo de viga biapoyada al 90% de dicha carga, considerando la posición más desfavorable a estos efectos de dicha carga con la distribución correspondiente a las sobrecargas de manipulación y de tráfico terrestre consideradas. Cuando la carga admisible se define tanto a través de la carga máxima por eje como de la carga máxima total, se considerará la que da lugar a la reacción más desfavorable.

El valor representativo de la acción horizontal lineal debida a los portalones del buque en esta condición de trabajo, de actuación simultánea con la acción vertical producida por las mismas, estará igualmente correlacionado con el valor representativo adoptado para esta última acción por medio del coeficiente de rozamiento entre el portalón del buque y la obra de atraque en la zona de contacto (μ_r).

Los criterios de aplicación de esta acción en esta condición de trabajo excepcional son idénticos a los establecidos para la misma en condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado.

El valor de compatibilidad de las acciones debidas a los portalones del buque en condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico (valor cuasi-permanente) será el más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre los valores representativos de dichas acciones en esta condición de trabajo asociados con cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, considerando las otras acciones de actuación simultánea en dicha condición de trabajo dependientes del buque.

En el caso de que las cargas de manipulación de mercancías y las debidas al tráfico terrestre sean dependientes del buque, el valor de compatibilidad de las acciones debidas a los portalones y el de las cargas de manipulación y tráfico en esta condición de trabajo deberán estar asociadas con el mismo buque, siendo éste el que tiene asociadas las cargas de actuación simultánea que producen los efectos más desfavorables para el elemento y modo de fallo considerado.

- *En condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica*

El valor de compatibilidad de las acciones debidas a los portalones del buque en condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica será el valor cuasipermanente, obtenido de acuerdo con lo señalado en el epígrafe anterior.

Los valores representativos de las acciones verticales debidas a los portalones del buque para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos se resumen en la tabla 4.6.4.47.

- ◆ *Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio*

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que intervengan acciones debidas a los portalones del buque y el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación sea la combinación poco probable o fundamental, será de aplicación lo dispuesto para los valores de combinación de dicha acción en el epígrafe correspondiente a la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos para condiciones de trabajo operativas y extremas, considerando el valor que le corresponda en función de la condición de trabajo considerada. Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable sea la combinación frecuente o cuasi-permanente se adoptarán como valores representativos de las

acciones debidas a los portalones del buque los valores cuasi-permanentes definidos en el citado epígrafe (Ver tabla 4.6.4.47).

◆ *Para la verificación de modos de parada operativa*

Las acciones debidas a los portalones del buque no tienen una incidencia directa en la verificación del modo de parada operativa correspondiente a la paralización de las operaciones de carga y descarga del buque al ser acciones dependientes del buque, de los sistemas discontinuos de carga y descarga por rodadura y de las cargas de tráfico, los cuales condicionan los valores umbral de las variables de los agentes atmosféricos y climáticos marinos, así como de los agentes operativos, que dan lugar a la suspensión de las operaciones de carga y descarga del buque atracado (Ver apartado correspondiente a la definición de las condiciones límite de operatividad para la realización de las operaciones de carga y descarga del buque por medios rodantes).

Tabla 4.6.4.47. Valores representativos de las acciones verticales debidas a los portalones del buque (Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos)

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR DE COMBINACIÓN
Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes al estado límite realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado (CT1,2)	<p>– En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías por medios rodantes y las debidas al tráfico terrestre se consideren independientes de la flota de buques esperable en el atraque</p> <p>El valor más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre los valores representativos de la acción en la condición de trabajo asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, considerando las otras acciones de actuación simultánea dependientes del buque. Siendo el valor representativo de la acción correspondiente a cada buque en la condición de trabajo el valor más desfavorable para el elemento considerado y el modo de fallo analizado de la reacción vertical lineal producida por el portalón sobre la estructura de atraque considerando las características resistentes y de sustentación del portalón, así como los valores representativos del peso propio del portalón y de las sobrecargas de manipulación de mercancías por rodadura o de tráfico terrestre que sean de aplicación en el ciclo de sollicitación, así como las condiciones de simultaneidad en función del número de carriles de la rampa y de las diferentes posiciones que estas sobrecargas pueden actuar en el portalón del buque.</p> <p>– En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías por medios rodantes y las debidas al tráfico terrestre se consideren dependientes del buque</p> <p>El valor representativo de la reacción vertical lineal correspondiente al buque que tiene asociadas las cargas de actuación simultánea dependientes del buque que producen los efectos más desfavorables para el elemento y modo de fallo considerados.</p>
Condiciones de Trabajo Extremas o Excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario (CT2 y CT3,1)	– Idéntico valor al adoptado para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, tomando en consideración únicamente los buques de la flota esperable en el atraque cuyas operaciones de carga y descarga no queden limitadas a partir de un valor umbral del agente climático que define las condiciones extremas y excepcionales consideradas.
CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de las acciones debidas a los portalones del buque de carácter extraordinario (CT3,2) ²⁾	El valor más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre los valores representativos de la acción en la condición de trabajo asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque. Siendo el valor representativo de la acción debida a los portalones del buque de carácter extraordinario correspondiente a cada buque (carga concentrada) el obtenido a partir del valor representativo definido para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, multiplicándolo por el ancho total del portalón o portalones del buque considerado (w_r)

**Valores representativos de las acciones verticales debidas a los portalones del buque
(Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos) (continuación)**

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CUASI-PERMANENTE
<p>Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico (CT3,2)</p>	<p>– En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías por medios rodantes y las debidas al tráfico terrestre se consideren independientes de la flota de buques esperable en el atraque El valor más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre los valores representativos de la acción en la condición de trabajo asociados con cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, considerando las otras acciones de actuación simultánea dependientes del buque. Siendo el valor representativo de la acción en esta condición de trabajo correspondiente a cada buque, el valor más desfavorable para el elemento considerado y el modo de fallo analizado de la reacción lineal producida por el portalón sobre la estructura de atraque, considerando las características resistentes y de sustentación del portalón del buque, el valor representativo del peso propio del portalón y el valor cuasi-permanente de las sobrecargas de manipulación de mercancías por rodadura o de tráfico terrestre que sean de aplicación, así como las condiciones de simultaneidad en función del número de carriles del portalón y de las diferentes posiciones en las que estas sobrecargas pueden actuar en el portalón del buque.</p> <p>– En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías por medios rodantes y las debidas al tráfico terrestre se consideren dependientes del buque El valor representativo de la reacción vertical lineal en esta condición de trabajo correspondiente al buque que tiene asociadas las cargas de actuación simultánea dependientes del buque que producen los efectos más desfavorables para el elemento y modo de fallo considerados.</p>
<p>Condiciones de Trabajo Extremas y Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)</p>	<p>– En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías por medios rodantes y las debidas al tráfico terrestre se consideren independientes de la flota de buques esperable en el atraque El valor más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre los valores representativos de la acción en la condición de trabajo asociados con cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, considerando las otras acciones de actuación simultánea dependientes del buque. Siendo el valor representativo de la acción en esta condición de trabajo correspondiente a cada buque, el valor más desfavorable para el elemento considerado y el modo de fallo analizado de la reacción lineal producida por el portalón sobre la estructura de atraque, considerando las características resistentes y de sustentación del portalón del buque, el valor representativo del peso propio del portalón y el valor cuasi-permanente de las sobrecargas de manipulación de mercancías por rodadura o de tráfico terrestre que sean de aplicación, así como las diferentes posiciones en las que estas sobrecargas pueden actuar en la rampa del buque.</p> <p>– En el caso de que las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías por medios rodantes y las debidas al tráfico terrestre se consideren dependientes del buque El valor representativo de la reacción vertical lineal en esta condición de trabajo correspondiente al buque que tiene asociadas las cargas de actuación simultánea dependientes del buque que producen los efectos más desfavorables para el elemento y modo de fallo considerados.</p>
<p>Notas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Únicamente se considerarán acciones debidas a los portalones del buque en condiciones de trabajo extremas o excepcionales asociadas con la presentación de un determinado agente climático cuando las operaciones de carga y descarga por medios rodantes de alguno de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque no queden limitadas a partir de un valor umbral de dicho agente. 2) Únicamente se considerará esta condición de trabajo para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo menores o iguales al 5%. 3) Los valores representativos de la acción horizontal debida a los portalones del buque de actuación simultánea con la acción vertical producida por los mismos están correlacionados con el valor representativo adoptado para la acción vertical por medio del coeficiente de rozamiento entre el portalón del buque y la obra de atraque en la zona de contacto (μ_v). Este coeficiente se considera de carácter permanente y se define a través de un valor nominal. A falta de información más detallada, puede adoptarse de forma general 0,30 como valor nominal de dicho parámetro. 	

b) Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación, la definición de la acción debida a los portalones correspondiente a un buque determinado en cada uno de los ciclos de sollicitación considerados se realizará a partir de las funciones de distribución en dicho ciclo de las variables de las que depende, particularmente de la funciones de distribución de las cargas transmitidas por los equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga por medios rodantes, así como de las cargas de tráfico viario y, en su caso, de tráfico ferroviario, a través de la relaciones funcionales que relacionan el peso propio del portalón y las sobrecargas actuantes sobre la misma con la reacciones producidas por la rampa sobre la estructura de atraque en dicho ciclo de sollicitación. Dichas funciones de distribución se definen, respectivamente en los apartados 4.6.4.2.1.2, 4.6.4.3.1 y 4.6.4.3.2.

Las funciones de distribución de las cargas transmitidas por los equipos de manipulación por medios rodantes, así como las cargas de tráfico terrestre, serán las funciones de distribución marginales de dichas acciones en el caso de que éstas sean independientes del buque. En caso contrario serán las funciones de distribución condicionadas a cada tipo de buque. En todos los casos el peso propio del portalón podrá considerarse que se introduce en la relación funcional a través de su valor representativo (valor nominal).

4.6.4.4.6.3. Cargas mínimas debidas a los portalones del buque

Sin perjuicio de la determinación de las acciones debidas a los portalones del buque de acuerdo con los procedimientos establecidos en esta Recomendación, en previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación de la obra de atraque y amarre durante su vida útil o de incertidumbres que pudieran producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra tanto en lo que respecta a la flota de buques esperable en el atraque como en los equipos inicialmente previstos por el Promotor para la carga y descarga, así como para compatibilizar las acciones debidas a los portalones con las cargas mínimas establecidas en esta Recomendación para las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de cargas y descarga del buque por medios rodantes y por las cargas del tráfico terrestre, es recomendable que se adopten los siguientes valores representativos mínimos para las acciones debidas a los portalones del buque en las obras de atraque y amarre en las áreas de operación correspondientes a usos comerciales de mercancía general y pasajeros en los casos ro-ro, ferries y multipropósito:

- ◆ Valor de combinación para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado

$$q_{v,45]V} = 200 \text{ kN/m}$$

$$q_{v,45]H} = 60 \text{ kN/m}$$

- ◆ Valor de combinación para condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario ⁽⁹⁴⁾

$$q_{v,45]V} = 200 \text{ kN/m}$$

$$q_{v,45]H} = 60 \text{ kN/m}$$

- ◆ Valor característico para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de las acciones debidas a los portalones del buque de carácter extraordinario ⁽⁹⁵⁾

$$Q_{v,45]V\text{extraordinario}} = 200 \cdot (B_{max} - a), \text{ en kN}$$

$$Q_{v,45]H\text{extraordinario}} = 60 \cdot (B_{max} - a), \text{ en kN}$$

Siendo:

B_{max} la mayor manga de entre los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, expresada en m.

a : 12 m si B_{max} está asociada a un buque con tonelaje de peso muerto mayor de 10.000 TPM.

4 m si B_{max} está asociada a un buque con tonelaje de peso muerto menor o igual de 10.000 TPM o a un buque con portalones múltiples.

(94) Únicamente se considerarán acciones debidas a los portalones del buque en condiciones extremas o excepcionales asociadas con la presentación de un determinado agente climático cuando las operaciones de carga y descarga por medios rodantes de alguno de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque no queden limitadas a partir de un valor umbral de dicho agente.

(95) Únicamente se considerará esta acción de trabajo para la verificación de modos de fallo con probabilidades de fallo menores o iguales al 5%.

- ◆ Valor cuasi-permanente para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario, así como para condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica

$$q_{v,45} | V | \text{condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental o sísmica} = 180 \text{ kN/m}$$

$$q_{v,45} | H | \text{condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental o sísmica} = 55 \text{ kN/m}$$

Las condiciones de aplicación de las acciones debidas a los portalones del buque cuando se consideren los valores representativos mínimos correspondientes a cada condición de trabajo serán idénticas que las establecidos en el apartado 4.6.4.4.6.2. a) para el caso equivalente dependiendo del tipo de portalón (portalón de proa o popa, portalón $\frac{3}{4}$ o portalón lateral) que puede apoyarse en la obra de atraque analizada tomando en consideración la configuración del atraque de los buques en relación a dicha obra. La longitud de aplicación de las cargas lineales será aquélla que produzca el efecto más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado, no siendo menor de 4.5 m.

4.6.4.4.7. ACCIONES DE AMARRE ($q_{v,46}$)

Las acciones de amarre son las cargas transmitidas por el buque a la estructura de atraque y amarre cuando permanece en el puesto de atraque amarrado; es decir, con máquina parada y con sus movimientos restringidos como flotador libre por un sistema de amarre y defensas dentro de los límites requeridos para garantizar su seguridad y la de otros buques e instalaciones en todas las condiciones climáticas y operativas de trabajo establecidas para la permanencia del buque en el atraque y para que puedan desarrollarse las operaciones portuarias de carga, descarga, estiba, desestiba y trasbordo de mercancías y vehículos o de embarque y desembarque de pasajeros de acuerdo con los sistemas de manipulación adoptados. Dicha transmisión de cargas se realiza a través del contacto directo entre el buque y el sistema de atraque (estructura de atraque y sistema de defensas) y/o indirectamente a través de las líneas de amarre tensionadas utilizadas para la limitación de movimientos.

También se considerarán como cargas de amarre aquéllas transmitidas por las líneas de amarre durante las maniobras de atraque y desatraque cuando se utilicen como elementos auxiliares en dichas operaciones.

Los agentes que actúan sobre el buque amarrado que tienen incidencia para el establecimiento del adecuado sistema de amarre capaz de resistir sus efectos, manteniendo simultáneamente los movimientos del buque en valores admisibles y, en función de ambos, para la valoración de las acciones de amarre, son tanto climáticos (q_{fc}) como debidos a las operaciones de buques ($q_{v,4}$). Los principales agentes que deben tomarse en consideración a estos efectos son:

- ◆ Agentes climáticos atmosféricos y marinos
 - Viento ($q_{fc,2}$)
 - Corriente ($q_{fc,5}$)
 - Niveles de agua asociados a mareas y regímenes fluviales ($q_{fc,61}$)
 - Ondas largas ($q_{fc,62}$)
 - Oleaje ($q_{fc,63}$)
 - Hielo ($q_{fc,33}$)
- ◆ Agentes debidos a operaciones de buques
 - Efectos hidrodinámicos inducidos por el paso de un buque navegando ($q_{v,41}$)
 - Corrientes generadas por los sistemas de propulsión, así como fuerzas inducidas sobre el buque por los remolcadores que formen parte eventualmente de la configuración del sistema de amarre ($q_{v,44}$)
 - Cambios de los parámetros geométricos del buque (calado, francobordo, ...), asientos y escoras causados por las modificaciones en las condiciones de carga del buque durante las operaciones de manipulación de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros ($q_{v,42}$).

Las acciones de amarre asociadas a un buque y puesto de atraque pueden definirse como acciones vectoriales variables aplicadas en:

- ◆ Cada una de las líneas de amarre ($Q_{v,46,m}$)
- ◆ Cada una de las defensas ($Q_{v,46,f}$)

En un estado meteorológico, cada una de las acciones en las líneas de amarre puede considerarse como una acción variable de carácter oscilatorio formada por una componente cuasi-estática u oscilatoria de periodo largo y por unas componentes de fluctuación con periodos mucho más bajos (generalmente entre 10 y 30 s). Las amplitudes y periodos de ambas componentes son función de las características del buque, de las cargas actuantes sobre el mismo y de la tipología, disposición, dimensiones, características resistentes y de comportamiento de los sistemas de atraque y amarre (estructura de atraque + defensas + líneas de amarre), así como de las condiciones tensionales iniciales del sistema de amarre. Para cada situación de carga del buque, puede considerarse que la manifestación estacionaria de los agentes que actúan sobre el buque define así mismo la estacionariedad de las cargas sobre las líneas de amarre. En este sentido, puede considerarse que las cargas sobre las líneas de amarre son variables aleatorias estadísticamente estacionarias en los estados meteorológicos (ver apartado 4.6.2) o en los estados operativos transitorios en los que se presentan efectos hidrodinámicos inducidos por el paso de buques en tránsito (ver apartado 4.6.4.2.1) u otros agentes. En dichos estados, las acciones en las líneas de amarre pueden describirse de forma equivalente al agente viento (Ver ROM 0.4-95), considerándose compuestas simplificadaamente por una componente media constante (carga media asociada a un tiempo de registro considerado a estos efectos como significativo [como mínimo del orden de 30 min en los estados meteorológicos y valores menores en los estados operativos transitorios]) y por una componente aleatoria de fluctuación estacionaria alrededor de dicho valor (Ver figuras 4.6.4.29), que puede ser descrita mediante modelos de probabilidad de sus variables básicas, amplitud y periodo, y sus parámetros estadísticos representativos asociados (variables de estado) o bien mediante un modelo frecuencial, obteniendo el correspondiente espectro (Ver figura 4.6.4.30). A los efectos de esta Recomendación, las variables de estado representativas para la definición de este agente son la carga media, el valor significativo de la amplitud de la componente de fluctuación de la carga o de los máximos secuenciales de la misma (valores en cresta), la carga máxima más probable, la carga mínima más probable, el periodo de pico y los periodos dominantes para los rangos de baja y alta frecuencias de la componente de fluctuación (Ver figuras 4.6.4.29 y 4.6.4.30).

En un estado meteorológico u operativo transitorio, cada una de las acciones en las defensas puede considerarse como una acción variable de carácter impulsivo, cuya serie temporal está constituida por una sucesión discontinua de fuerzas producidas por impactos de corta duración causados por los sucesivos ciclos de compresión-descompresión que se producen en las defensas debidos a los movimientos del buque amarrado (Ver figura 4.6.4.31.a) o bien como una acción variable de carácter oscilatorio cuando las defensas se mantienen en todo momento comprimidas en el estado de proyecto considerado (Ver figura 4.6.4.31.b). Las características de estas cargas son dependientes de los mismos factores que los señalados para las acciones en las líneas de amarre. Para cada situación de carga del buque, puede igualmente considerarse que la manifestación estacionaria de los agentes que actúan sobre el buque define la estacionariedad de las componentes de las acciones de amarre sobre las defensas. Es decir, puede también considerarse que las cargas sobre las defensas en situación de buque amarrado son estadísticamente estacionarias en los estados meteorológicos o en los estados operativos transitorios en los que se presentan ondas generadas por buques navegando u otros agentes operativos. En dichos estados, las acciones de amarre sobre las defensas pueden describirse mediante variables de estado como el valor significativo de las cargas máximas secuenciales o la carga máxima más probable cuando están sometidas a ciclos de compresión-descompresión o con parámetros equivalentes a las acciones sobre las líneas de amarre cuando se mantienen comprimidas (valores significativos, carga máxima más probable, carga mínima más probable, periodos de pico y periodos dominantes).

No obstante lo anterior, en aquéllos estados de proyecto que tengan una menor escala temporal de estacionariedad (p.e. el estado sísmico), las cargas de amarre, tanto sobre las líneas de amarre como sobre las defensas, tendrán la consideración de permanentes de acuerdo con la acepción dada a este término en el apartado 4.1 de esta Recomendación, de igual forma que el resto de agentes climatológicos u operativos en dicho estado.

Las direcciones de actuación de las cargas de amarre sobre los puntos de amarre se considerarán coincidentes con la de las líneas de amarre, siendo por tanto, función de las características del buque y de la configuración del sistema de amarre en cada estado, en particular en relación con la situación en planta y alzado de los puntos

de amarre. La componente de las cargas de amarre sobre las defensas se considerará compuesta por una componente perpendicular al frente de atraque y por una fuerza de rozamiento contenida en la superficie de contacto entre el sistema de atraque y el casco del buque.

Figura 4.6.4.29. Ejemplo de registro tipo de cargas de amarre en una línea de amarre en un estado meteorológico, en la condición de trabajo operativa de permanencia del buque en el atraque

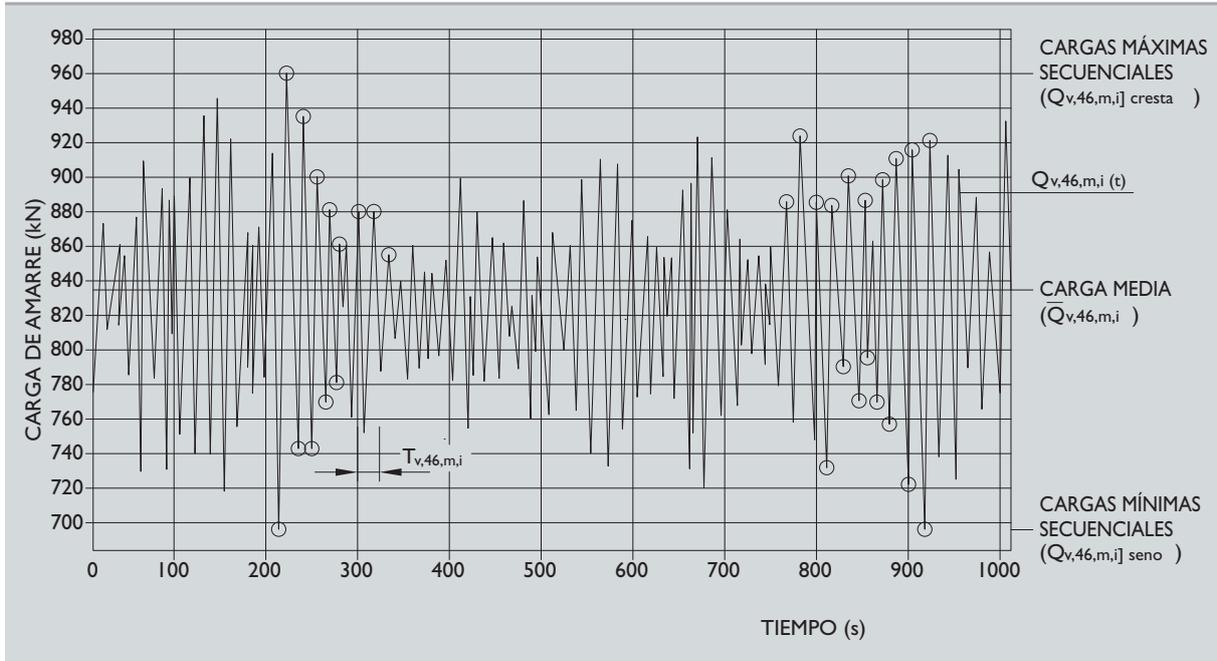


Figura 4.6.4.30. Ejemplos de espectros de la componente de fluctuación de cargas de amarre correspondientes a líneas de amarre de través de un buque gasero de 125.000 m³ en un estado meteorológico, en situación de plena carga amarrado de costado

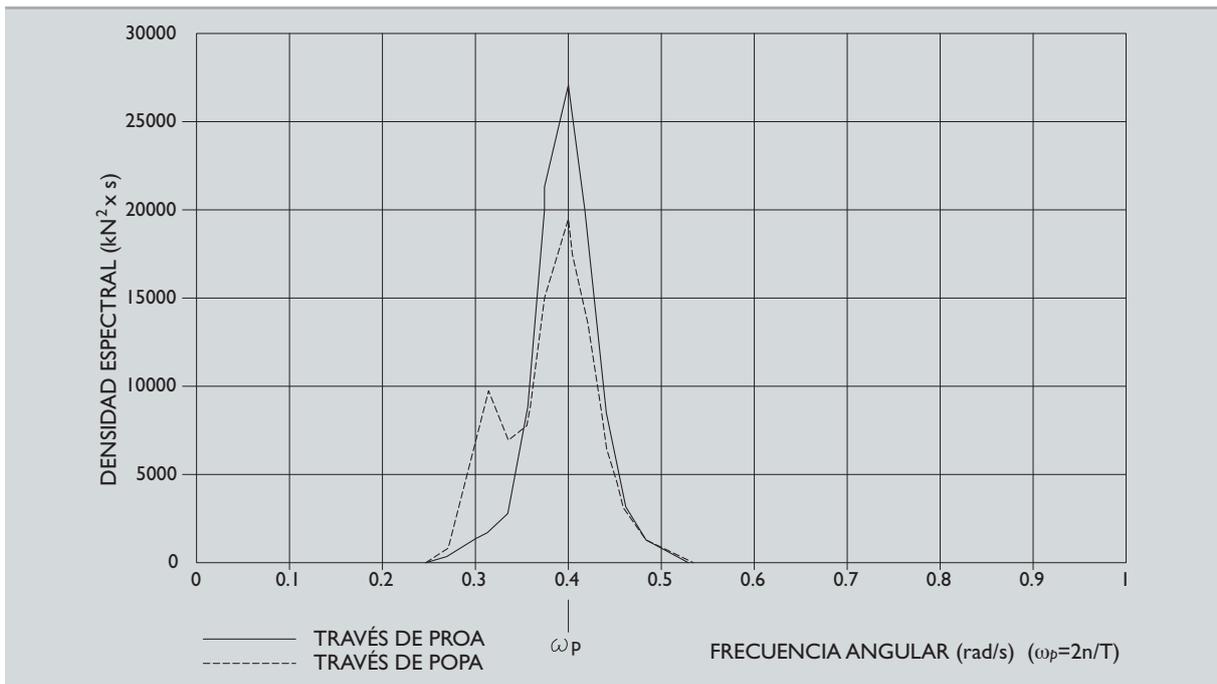
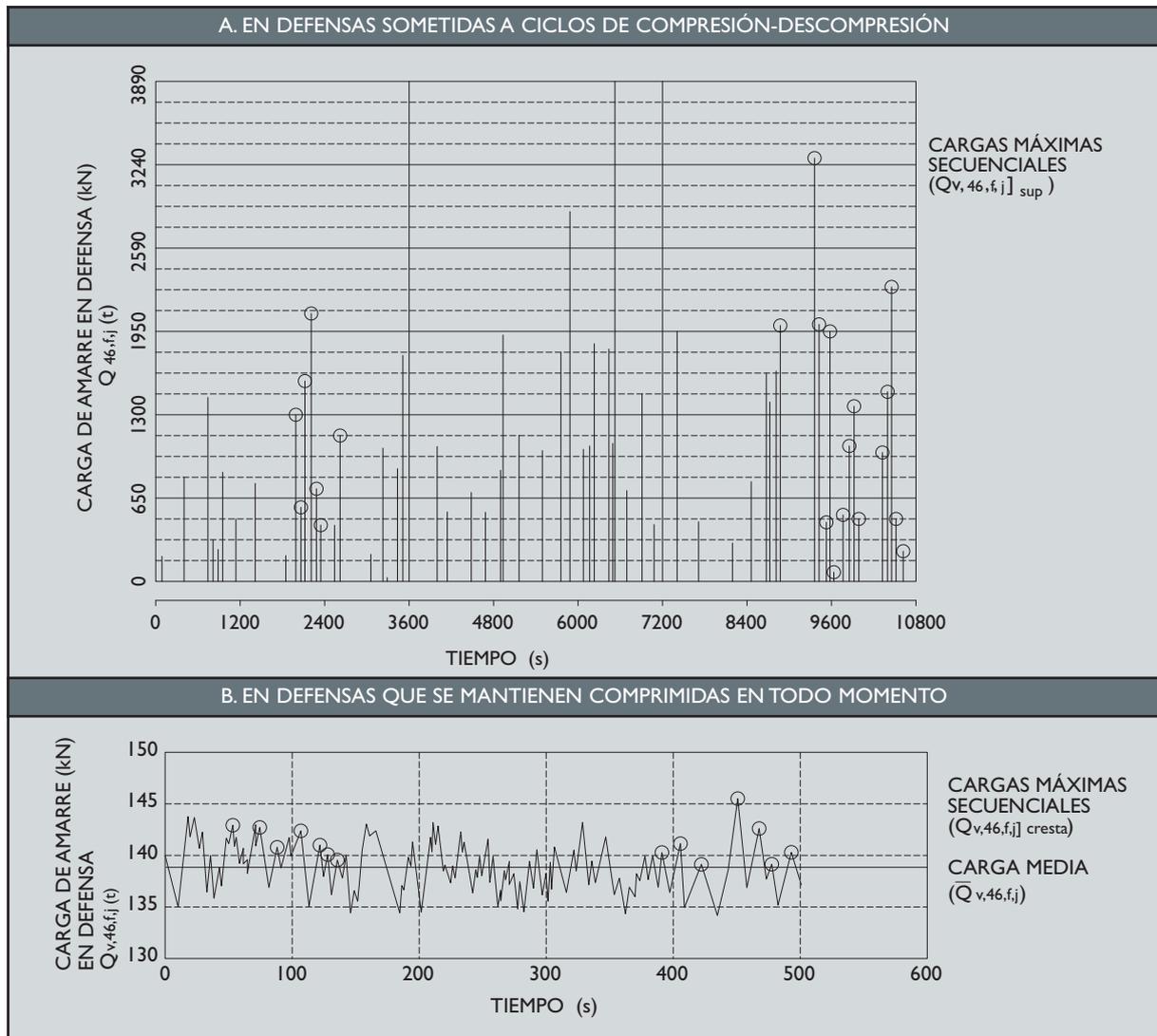


Figura 4.6.4.31. Ejemplo de registro tipo de cargas de amarre en una defensa de un estado meteorológico, en la condición de trabajo operativa de permanencia del buque en el atraque



Independientemente del mayor o menor comportamiento dinámico que puede presentar el sistema buque/sistema de amarre/sistema de defensa al ser solicitado por los distintos agentes que actúan sobre el buque amarrado y que incide en las características de las cargas de amarre resultantes, los periodos de las componentes de fluctuación de las acciones en las líneas de amarre o en defensas continuamente comprimidas que tienen mayor nivel energético suelen ser significativamente mayores que los periodos naturales de oscilación de la mayor parte de las obras de atraque y amarre fijas cuando la configuración y características del sistema de amarre responde a los principios operativos establecidos como adecuados para cada tipo de buque, configuración del atraque y condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque (ver apartado 4.6.4.4.7.1.1). Por dicha razón, a pesar de la naturaleza oscilatoria de estas acciones, en general no será necesario considerar una respuesta dinámica de este tipo de estructuras debido a la actuación de cargas de amarre. Sin embargo, las estructuras fijas muy flexibles, así como las estructuras flotantes, sí pueden presentar un comportamiento dinámico frente a la actuación de dichas cargas, por lo que es conveniente a estos efectos realizar un análisis dinámico global del conjunto buque/sistema de amarre/sistema de atraque (estructura de atraque+sistema de defensas); es decir, incluyendo también en el análisis la estructura de atraque (Ver apartado 4.6.2.1.1.d₃).

La actuación de las acciones de amarre correspondientes a un puesto de atraque se considerará en los siguientes estados representativos de los ciclos de sollicitación asociados a la explotación de la instalación de atraque:

- ◆ Condiciones de trabajo operativas correspondientes a la permanencia de buques en el atraque sin realizar operaciones de carga y descarga.
- ◆ Condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga de mercancías o embarque y desembarque de pasajeros con buque atracado,

así como en los ciclos de solicitud representativos de condiciones excepcionales asociadas a la presentación en dichos estados operativos del agente sísmico o de un agente extraordinario o insólito. Por tanto, se considerarán de actuación simultánea con el resto de agentes presentes en dichos estados en las condiciones de simultaneidad entre sí definidas en esta Recomendación para cada uno de los agentes y adoptando los valores representativos de compatibilidad y, en su caso, funciones de distribución definidos para los mismos en cada una de dichas condiciones de trabajo.

Por razones de incompatibilidad operativa no se considerará esta acción en condiciones extremas o en condiciones excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, salvo que no quede limitada la permanencia del buque en el atraque para alguno de los agentes climáticos. Tampoco se considerará en condiciones de trabajo correspondientes a las operaciones de atraque, salvo que la estructura de atraque pueda recibir las cargas de amarre de atraques próximos (p.e. pantalán atracable por ambos lados) o los criterios de explotación de la instalación establecidos por el Promotor consideren específicamente la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante las maniobras de atraque.

Siempre que los resguardos y las configuraciones del sistema de amarre definidos para buques atracados en puestos de amarre contiguos en el estado considerado permitan amarres múltiples y además lo prevean específicamente los criterios de explotación establecidos para la instalación portuaria en dicho estado ⁽⁹⁶⁾, sobre un punto de amarre se deberá considerar la actuación simultánea de cargas de amarre provenientes de buques atracados en puestos contiguos. Los criterios para definir las condiciones de compatibilidad de estas cargas en función del método utilizado para la determinación de las acciones de amarre se incluyen en los apartados correspondientes a la descripción de dichos métodos (apartados 4.6.4.4.7.1.2 a 4.6.4.4.7.1.3).

En ausencia de estudios detallados, para la verificación de modos de fallo globales en obras de atraque y amarre fijas podrá considerarse simplificada del lado de la seguridad que las componentes de las acciones de amarre sobre los puntos de amarre y las que actúan sobre las defensas no actúan simultáneamente por ser direccionalmente desfavorables entre sí, salvo en estructuras atracables por ambos lados (p.e. pantalán), al poder actuar ambas en el mismo sentido. En obras de atraque continuas (muelles o pantalanos continuos) deberá considerarse simplificada que en todos los puntos de amarre o defensas puede actuar en cada condición de trabajo simultáneamente la carga correspondiente al punto de amarre o defensa más cargado en dicha condición de trabajo (Ver apartado 4.6.4.4.7.2). Las anteriores simplificaciones también serán de aplicación para el caso en el que sobre un punto de amarre actúen cargas de líneas de amarre provenientes de puestos de amarre contiguos, considerando los criterios de compatibilidad establecidos para esos casos de acuerdo con lo previsto en esta Recomendación. Estas simplificaciones no serán de aplicación para la verificación de modos de fallo globales en obras de atraque y amarre flotantes cuando este tipo de estructuras presenten un comportamiento dinámico frente a la actuación de las cargas de amarre, siendo imprescindible en estos casos realizar un análisis dinámico global del conjunto. Para la verificación de modos de fallo locales y particularmente para la verificación de amarras, defensas y puntos de amarre (bolardos, ...) también serán de aplicación las anteriores simplificaciones.

Las acciones de amarre son cargas compuestas al ser dependientes de otros agentes, en particular del buque y de los agentes climáticos y de algunos agentes operativos que actúan sobre el mismo, por lo que pueden considerarse correlacionadas con estos agentes, así como con otras acciones que se presenten en cada condición de trabajo en la que se considere su actuación y que dependan de alguno de estos agentes, en las condiciones de simultaneidad y compatibilidad establecidas para los mismos en dichos estados. Para su definición se considerará que el factor predominante es el tamaño, composición y características de la flota de buques esperable en el atra-

(96) Por ejemplo en atraques para mercancías peligrosas, por criterios de seguridad no son admisibles configuraciones de sistemas de amarre que establezcan el cruce de líneas de amarre correspondientes a diferentes buques o la utilización de un mismo dispositivo de amarre (bolardo o uña de gancho de escape rápido) por varios buques (Ver apartado 3.2.1.4).

que, definida a través de las funciones de distribución conjunta de las tipologías y de los parámetros geométricos de los buques en cada situación de carga en la que puedan encontrarse en el atraque o bien, cuando no estén nominalmente identificados por el Promotor o estén únicamente identificados por un único parámetro representativo considerado como principal, a través de las funciones marginales o de los buques de proyecto definidos para dicho parámetro para cada tipología del buque de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.4.4.1. En ese último caso, los otros parámetros representativos distintos al principal que inciden en la cuantificación de la acción (eslora, áreas longitudinales y transversales emergidas, áreas longitudinales y transversales sumergidas,...) que se asignan a cada uno de los buques así definido se derivarán a partir de dicho parámetro principal según lo dispuesto en dicho apartado, tomando en consideración las situaciones de carga límite en las que pueden encontrarse los buques en el atraque, así como las tipologías de los buques compatibles con el uso establecido para la obra de atraque. En los casos en los que el Promotor de la instalación no establezca las situaciones de carga límite del buque en el atraque se considerará que puede encontrarse tanto en situación de plena carga como en lastre.

4.6.4.4.7.1. Métodos para la determinación de las acciones de amarre

Para un buque en una determinada condición de carga, amarrado en una obra de atraque, la determinación de las cargas de amarre deberá llevarse a cabo analizando el comportamiento global del conjunto buque/sistema de amarre/sistema de atraque frente a la actuación de agentes climáticos y agentes debidos a las operaciones de buques en los ciclos de sollicitación correspondientes a las diferentes condiciones de trabajo consideradas. En los casos de obras de atraque fijas, salvo en obras de atraque muy flexibles (p.e. duques de alba formados por pilotes aislados o grupos de pilotes) será suficiente analizar a estos efectos simplificadaamente el comportamiento global del conjunto buque/sistema de amarre/sistema de defensas; es decir, no incluyendo la estructura de atraque, al no ser previsible una respuesta dinámica de este tipo de estructuras debido a la actuación de cargas de amarre.

Los métodos que permiten el modelado y la resolución de un sistema dinámico tan complejo son los siguientes:

- ◆ Métodos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados
- ◆ Modelos matemáticos
- ◆ Modelos experimentales

Independientemente del método de análisis que se utilice, previamente se deberán conocer o definir las configuraciones y características iniciales de los sistemas de amarre y defensas que se van adoptar para cada buque, situación de carga y configuración del atraque en todos los estados en los que se considere la permanencia del buque en el atraque. Estos sistemas deberán ser adecuados para mantener los movimientos del buque amarrado y los esfuerzos sobre el mismo, así como sobre las líneas y puntos de amarre, defensas y estructura, en valores admisibles, compatibles con su seguridad y, en su caso, con el desarrollo en condiciones seguras de las operaciones portuarias de carga y descarga de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros.

A estos efectos, debe recordarse que algunos sistemas de amarre y defensas pueden ser útiles para la reducción de los movimientos horizontales de los buques (deriva, vaivén y guiñada), modificando simultáneamente los periodos de oscilación del buque amarrado correspondientes a estos movimientos respecto al buque en flotación libre ⁽⁹⁷⁾. Por el contrario, los sistemas de amarre no son prácticamente eficaces para la reducción de los movimientos verticales del buque (alteada, cabeceo y balance), salvo en lo que respecta a la capacidad de las defensas cuando están comprimidas de reducir dichos movimientos, particularmente importante en el caso del balance, no dando lugar, con la excepción señalada, ni a una disminución relevante de los movimientos verticales ni a la alteración significativa de los periodos de oscilación del buque amarrado correspondientes a estos movimientos respecto al buque en flotación libre ⁽⁹⁸⁾. No obstante lo anterior, en algunos buques (particularmente los

(97) Los periodos de oscilación correspondientes a los movimientos horizontales del buque amarrado para buques con $L \geq 25$ m suelen estar en el rango entre 15 s y 2 min, dependiendo del tipo y desplazamiento del buque y de la configuración y características del sistema de amarre y defensas. Cuanto menor sea el desplazamiento del buque y más rígido el sistema de amarre y defensas, menores serán los periodos de oscilación.

(98) Los periodos de oscilación correspondientes a los movimientos verticales del buque amarrado suelen ser menores de 20 s. Asimismo, cuanto menor sea el desplazamiento del buque y más rígido el sistema de defensas, menores serán los periodos de oscilación.

que tienen cubierta alta) y con algunos sistemas de amarre, la acción de los traveses puede afectar significativamente al balance (e incluso al cabeceo y a la alteada, aunque en menor medida) al dar lugar a acoplamientos (transferencia de energía) entre los movimientos de deriva y balance.

Los máximos movimientos admisibles de los buques en condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga de mercancías o embarque y desembarque de pasajeros con buque atracado son aquéllos a partir de los cuales no es posible realizar dichas operaciones en condiciones de seguridad y eficiencia. Dependen fundamentalmente del tipo y tamaño del buque y del sistema de manipulación de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros considerado. Los máximos valores recomendados se recogen en la tabla 4.6.4.22 de esta Recomendación.

Los máximos movimientos admisibles de los buques en condiciones de trabajo operativas correspondientes a la permanencia del buque en el atraque sin realizar operaciones de carga y descarga son aquéllos a partir de los cuales el buque, el sistema de amarre y defensas o el atraque podrían resultar dañados y, por tanto, no quedara garantizada la permanencia del buque amarrado en el puesto de atraque en condiciones seguras. Es decir, los límites de los movimientos vienen definidos más por las características de los sistemas de amarre y defensas y por las presiones que se producen sobre el casco de los buques que por otros factores.

En este sentido, a igualdad de otras condiciones, los movimientos del buque generalmente admisibles con sistemas de amarre y defensas rígidos suelen ser menores que con sistemas más flexibles, al alcanzarse antes en los primeros las cargas admisibles en los distintos elementos que conforman los sistemas de amarre y atraque. Por tanto, no es posible definir con carácter absoluto un rango superior admisible para dichos movimientos, tanto en lo que se refiere a sus valores máximos como a las características de los mismos (amplitud respecto a su valor medio, periodo medio, velocidad máxima y aceleración y deceleración máxima).

No obstante lo anterior es conveniente establecer unos movimientos máximos admisibles de carácter funcional. Los criterios existentes en la literatura técnica referentes a los movimientos admisibles de los buques en condiciones de trabajo operativas correspondientes a la permanencia en el atraque de carácter funcional son escasos y poco homogéneos, variando ampliamente en función de la experiencia operativa adquirida en un determinado emplazamiento, del tamaño y tipo de buque, del tipo de atraque y de la configuración y características del sistema de amarre y defensas considerado. Sin perjuicio de estos aspectos y en ausencia de otros criterios específicos en el emplazamiento, los órdenes de magnitud de los valores de los movimientos del buque en estas condiciones de trabajo que se consideran como máximo funcionalmente aceptables con carácter general para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque fija o a un amarradero de orientación fija, siempre que el sistema de amarre y defensas esté razonablemente bien concebido, se recogen en la tabla 4.6.4.48. Para buque amarrado por proa a un amarradero de orientación libre podrán considerarse como órdenes de magnitud de los máximos movimientos admisibles del buque los establecidos para petroleros en la tabla 4.6.4.48, independientemente del tipo de buque.

4.6.4.4.7.1.1. Definición de la configuración y características del sistema de amarre y defensas

El Promotor de la instalación de atraque deberá definir la disposición y características del sistema de amarre para cada tipo de buque perteneciente a la flota esperable en la instalación, situación de carga y configuración del atraque en todos los estados en los que se considere la permanencia del buque en el atraque, considerando en el caso de atraques múltiples la compatibilidad operativa entre los buques de la flota que pueden encontrarse atracados simultáneamente en la instalación, sobre la base de los criterios de explotación definidos para la instalación, el equipamiento disponible y la experiencia operativa adquirida, así como de las recomendaciones efectuadas por las Sociedades de Clasificación de Buques o por organizaciones específicas como la OCIMF o SIGTTO para determinados tipos de buques (petroleros, gaseros y transportadores de productos petrolíferos y químicos)⁽⁹⁹⁾.

(99) OCIMF: Oil Companies International Marine Forum.

SIGTTO: Society of International Gas Tanker and Terminal Operators Ltd.

Tabla 4.6.4.48. Valores recomendados para los desplazamientos, giros y amplitudes máximas admisibles del buque atracado compatibles con permanencia en el atraque por condiciones funcionales, para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque fija y para buque amarrado por proa a un amarradero de orientación libre

TIPO DE BUQUE	VAIVÉN (surge) (m)	DERIVA (sway) (m)	ALTEADA (heave) (m)	GUIÑADA (yaw) (°)	CABECEO (pitch) (°)	BALANCE (roll) (°)
Petrolero	± 4,00	4,00	± 4,00	± 2	± 2	± 4
Gasero	± 3,00	3,00	± 3,00	± 2	± 2	± 4
Granelero	± 3,50	3,50	± 3,50	± 2	± 2	± 4
Resto de buques	L ≥ 200 m	± 2,00	2,00	± 2,00	± 2	± 4
	100 m < L < 200m	± 1,00	2,00	± 1,00	± 3	± 6
	L ≤ 100 m	± 0,75	2,00	± 0,75	± 4	± 8

Notas

- 1) No debe confundirse el término valor máximo del movimiento con el de máxima amplitud del movimiento. El valor máximo es un concepto absoluto. Por el contrario la máxima amplitud del movimiento es un término relativo al valor medio del mismo. Por tanto, de acuerdo con los límites fijados en esta tabla, la máxima amplitud admisible será el doble de la menor distancia entre el valor medio del movimiento y los valores máximos admisibles superior e inferior.
- 2) Los máximos movimientos horizontales y verticales incluidos en esta tabla se consideran respecto a la situación de reposo de buque atracado, medidos en su centro de gravedad, excepto para el caso del movimiento de deriva en que se corresponden con la distancia medida en la dirección de alejamiento del sistema atraque (obra de atraque + defensa). Los giros también se consideran medidos alrededor de los ejes horizontales y vertical que pasan por su centro de gravedad, respecto a la situación de reposo.
- 3) Los valores reflejados en la tabla están limitados para movimientos con periodos medios entre 10-20 s. Para movimientos del buque amarrado con periodos mayores podrán admitirse valores mayores.
- 4) En el caso de embarcaciones deportivas y de recreo, así como cruceros y ferries, los movimientos del buque admisibles compatibles con la permanencia del buque en el atraque son menores que los listados en esta tabla con el objeto de mantener una habitabilidad aceptable con el pasaje a bordo. En el caso de cruceros y ferries los máximos movimientos admisibles del buques en esta condición de trabajo serán los previstos en la tabla 4.6.4.22. para condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros. En la práctica, para el caso de embarcaciones deportivas y de recreo de menos de 20 m de eslora normalmente no se analizan máximos movimientos admisibles asociados con la seguridad de la embarcación amarrada. La seguridad y condiciones de confortabilidad en el puesto de atraque de este tipo de embarcaciones se garantiza a través de la limitación de las condiciones de agitación debidas a oleaje en dicha área a valores de altura de ola significante (H_s) menores de 0,30 m, al depender fundamentalmente de este agente los movimientos de estas embarcaciones.
- 5) L: eslora total.

En lo que respecta a la disposición, número y características del sistema de defensas se adoptará inicialmente el que se haya elegido en función de las cargas de atraque (ver apartado 4.6.4.4.3) y de las debidas a la consideración del impacto accidental del buque durante las operaciones de atraque (ver apartado 4.6.4.4.4.), sin perjuicio de que es conveniente su compatibilidad con las características adoptadas para el sistema de amarre con objeto

de que se alcance un comportamiento integrado de amarras y defensas (Ver epígrafe a. Tipo de sistema de defensas, de este apartado) y de la posterior comprobación de las mismas, de sus niveles de deformación y de las presiones de contacto ejercidas sobre el casco del buque para las cargas de amarre resultantes de forma equivalente a lo dispuesto en el apartado 4.6.4.4.3.2 de esta Recomendación para las cargas de atraque. En este sentido deberá cumplirse que las cargas de amarre en cada uno de los elementos que conforman el sistema de atraque (defensas + obra de atraque) se mantengan en el dominio admisible de cada uno de ellos (Ver apartado 4.6.4.4.3.2.a), considerando el valor característico de la carga máxima más probable en cada uno de los ciclos de solicitud o condiciones de trabajo a las que puedan estar sometidos dichos elementos (para formulaciones deterministas o determinista-probabilistas) o que la probabilidad de que las cargas de amarre en cada uno de los elementos del sistema de atraque en dichos ciclos de solicitud excedan el dominio último sea menor que 10^{-4} (criterio incondicional de no fallo para estados límite últimos), así como de que la probabilidad de que las cargas de amarre excedan el dominio admisible sea menor de 0,05 (criterio incondicional de no fallo para estados límite de servicio (para formulaciones probabilistas). No obstante lo anterior, cuando se considere la actuación de cargas de amarre en condiciones de trabajo extremas y excepcionales puede admitirse que la defensa puede agotar su capacidad de absorción de energía en dichas condiciones de trabajo, siempre que la estructura resistente cumpla las condiciones de no fallo anteriormente establecidas. En caso de incumplimiento será necesario reiterar el proceso, considerando menores separaciones entre defensas o defensas de características compatibles con los resultados obtenidos.

En el caso de que el Promotor no esté en condiciones de explicitar la configuración y características de los sistemas de amarre para cada buque y condición de trabajo, será el Proyectista el que lo defina inicialmente tomando en consideración idénticos criterios que los establecidos para el Promotor, así como los principios de buena práctica para cada configuración de atraque que se desarrollan en los epígrafes a) y b) de este apartado de acuerdo con las condiciones locales en el emplazamiento y las climáticas adoptadas como límite para la permanencia del buque en el atraque, así como, en su caso, las características de amarras más comunes embarcadas según el tipo de buque (Ver epígrafe a. Características de las líneas de amarre, de este apartado).

a) Criterios generales

Para la definición de la configuración y características del sistema de amarre y defensas de un buque amarrado correspondiente a cada uno de los ciclos de solicitud (condiciones de trabajo) que se consideren se tendrán en cuenta los siguientes criterios generales:

- ◆ *Número de líneas de amarre:* se tenderá a disponer el menor número posible de líneas de amarre. Con ello se conseguirá facilitar el manejo y tensionado de las mismas, simplificando las maniobras de atraque y desatraque. El número máximo de líneas de amarre estará en el rango de 12 a 18, dependiendo del tamaño y características del buque.
- ◆ *Disposición de las líneas de amarre:* las líneas de amarre y, en su caso, las defensas se distribuirán simétricamente respecto al centro geométrico del buque (punto medio de la eslora) para amarre lateral o de costado o respecto al eje longitudinal del buque para amarres por proa a un campo de boyas y, en ambos casos, lo más alejadas posible del centro geométrico del buque en el contacto buque/línea de amarre. Deberá comprobarse que todas ellas se mantienen tensionadas en toda situación de permanencia del buque en el atraque dentro de los límites admisibles en función del tipo de amarra y de los niveles tensionales que permitan los dispositivos de tensión del buque, así como que el buque se encuentra firme contra el sistema de defensas en esas situaciones. Es decir, deberá comprobarse que no se produce el destensado o el sobretensado de alguna de ellas, debiéndose comprobar particularmente las situaciones en la que el nivel de las aguas y/o la situación de carga del buque dan lugar a que se presenten las distancias mínima y máxima entre el punto de amarre y el cabrestante o chigre del buque. De esta forma se garantiza un reparto homogéneo de las cargas sobre el buque independientemente de la dirección de los agentes que actúan sobre el mismo, reduciendo al mínimo el riesgo de acoplamientos entre los distintos movimientos del buque. Lo anterior se establece con carácter general, sin perjuicio de que configuraciones no simétricas (p.e. duplicando alguna de las líneas o introduciendo nuevas líneas como largos en proa o popa) pueden ser reco-

mendables para buques amarrados lateralmente a una obra de atraque fija cuando las acciones predominantes sobre el buque actúen básicamente provenientes de un único sector direccional. No obstante, en estos casos siempre existe el riesgo de que se produzcan distribuciones no homogéneas de las cargas de amarre.

La simetría del sistema de amarre no es sinónimo de que el buque amarrado deba estar centrado en el atraque cuando su configuración física sea muelle, pantalán o duque de alba. Algunos buques como los petroleros o gaseros pueden tener los sistemas de conexión para la carga y descargas en zonas más o menos alejadas del centro del buque, por lo que el amarre estará descentrado respecto del centro de dichos sistemas de conexión.

- ◆ *Orientación de las líneas de amarre:* la efectividad de las líneas de amarre depende de dos ángulos: el ángulo vertical entre la línea de amarre y su proyección sobre un plano horizontal y el ángulo horizontal entre la línea de amarre y la línea de atraque. Cuanto más pequeño sea el ángulo vertical más efectiva será la línea de amarre para resistir acciones horizontales. A su vez, cuanto mayor sea el ángulo horizontal menos efectiva será la línea de atraque para resistir acciones longitudinales en la dirección del eje del buque y más efectiva para resistir acciones transversales. Para que su eficacia no se reduzca significativamente, puede considerarse que el ángulo vertical máximo no deberá exceder en ningún caso $\pm 25^\circ$ en los estados en los que se considere la permanencia del buque en el atraque. Por dichas razones, deberá comprobarse especialmente que dicho valor no se supera en aquellas situaciones de nivel de las aguas, situación de carga y máximos movimientos verticales del buque que dan lugar a los mayores ángulos verticales.
- ◆ *Características de las líneas de amarre:* las propiedades resistentes y de deformación de las líneas de amarre pueden definirse por medio de sus diagramas tensión/deformación. Según las características que presentan estos diagramas podemos distinguir los siguientes tipos de amarras:
 - *Amarras de fibras naturales,* fabricadas con materiales como el sisal, el cáñamo, etc., con diferentes tipos de estructuras de filamentos, cordones y trenzados. Estas amarras tienen bajas tensiones de rotura (del orden de $0,06-0,08 \text{ kN/mm}^2$), con deformaciones en rotura entre el 10 y el 15%. Los diagramas tensión/deformación suelen tener una forma prácticamente lineal. Se fabrican con tamaños máximos del orden de 100 mm de diámetro (mena ⁽¹⁰⁰⁾ de 315 mm). La carga última que puede alcanzarse con este tipo de amarras no suele superar 600 kN .
 - *Amarras de fibras sintéticas* fabricadas con materiales como el polipropileno, el poliéster, la poliamida o el nylon, también con diferentes tipos de estructuras de filamentos, cordones y trenzados. Estas amarras tienen mayores tensiones de rotura que las amarras de fibras naturales (de 2 a 4 veces mayores en función de los tipos y materiales comparados), por lo que tienen menor peso a igualdad de carga última y por tanto son de más fácil manipulación que las de fibras naturales. Las tensiones de rotura están normalmente en el rango $0,15$ a $0,40 \text{ kN/mm}^2$, con deformaciones en rotura entre el 12 y el 25%. Los diagramas tensión-deformación oscilan desde los prácticamente lineales (amarras de polipropileno) a los fuertemente exponenciales (amarras de poliéster o nylon). Se fabrican con tamaños máximos de 80 mm de diámetro y mena de 250 mm (amarras de polipropileno) a 140 mm y mena de 440 mm (amarras de poliéster o nylon). La carga última que puede alcanzarse con este tipo de amarras no suele superar 5.000 kN . Los tamaños más comunes de estos tipos de amarras embarcados actualmente en los buques oscilan entre $40-48 \text{ mm}$ de diámetro ($125 \text{ mm}-150 \text{ mm}$ de mena) en los buques pequeños (de hasta 5.000 t de desplazamiento a plena carga) y $72-80 \text{ mm}$ de diámetro ($225 \text{ mm} - 250 \text{ mm}$ de mena) en buques grandes (de más de 100.000 t de desplazamiento).
No obstante lo anterior, en la actualidad se están desarrollando amarras de fibras sintéticas con diagramas tensión-deformación lineales y alto módulo de deformación, construidas con nuevos materiales como el polietileno de alta densidad (PEAD) o la aramida (Kevlar), así como con nuevas estructuras que permiten alcanzar tensiones de rotura elevadas (del orden de 1 kN/mm^2)

(100) Se conoce por "mena" al perímetro de la línea de amarre.

con deformaciones en rotura pequeñas (entre el 3 y el 5%). Su comportamiento es similar al de las amarras de acero, aunque de mucho menor peso a igualdad de carga última y, por tanto, de mucha más fácil manipulación. Hay en el mercado amarras de este tipo con cargas últimas mayores de 10.000 kN, las cuales están progresivamente siendo introducidas en cruceros y gaseros de nueva construcción.

- *Amarras de acero*, compuestas de un núcleo central de acero, de fibras naturales o de fibras sintéticas, alrededor del cual se disponen cables de acero agrupados en cordones, los cuales se trenzan de diferentes formas. Los cables pueden ser tanto de acero galvanizado como no galvanizado. Estas amarras presentan altas tensiones de rotura (del orden de 0,7 a 1 kN/mm²), con deformaciones en rotura entre el 2 y el 3%. Los diagramas tensión-deformación de este tipo de amarras son lineales. Se fabrican con tamaños máximos del orden de 90 mm de diámetro (285 mm de mena). La carga última que puede alcanzarse con este tipo de amarras no suele superar los 4.500 kN. Este tipo de amarras suele presentar mayores pesos por metro lineal que las amarras sintéticas (el doble de las convencionales y 10 veces más que las de alto módulo) a igualdad de carga, por lo que son de peor manipulación. Los tamaños más comunes de estos tipos de amarras embarcados actualmente en los buques oscilan entre 22-26 mm de diámetro (70 mm – 80 mm de mena) en los buques pequeños (de hasta 5.000 t de desplazamiento a plena carga) y 32-36 mm de diámetro (100 mm-115 mm de mena) en los buques grandes (de más de 100.000 de desplazamiento).
- *Amarras combinadas*, conocidas también como calabrotes, formadas por una amarra de acero y una amarra de fibra sintética, normalmente nylon, situada en el extremo lado tierra o cola de la amarra, con una longitud estándar del orden de 11 m y excepcionalmente de 22 m. Se suele adoptar una amarra sintética que tenga una carga de rotura un 25% superior que la carga de rotura de la amarra de acero. Bajo estas condiciones, el comportamiento global del conjunto es menos rígido que la amarra de acero actuando en solitario (mayor capacidad de deformación ante una misma carga actuante), acentuando dicho comportamiento a mayor longitud de la cola. Además su carga de rotura es del orden del 25%-35% incluso del 50% superior a la de la amarra de acero. Este tipo de amarra suaviza las debilidades que presenta el comportamiento de las amarras de acero, particularmente en lo que se refiere al nivel de la respuesta dinámica del conjunto buque-sistema de amarre-sistema de defensa, facilitando adicionalmente su manipulación por reducción de su peso y aumentando la durabilidad de la amarra. Además, este tipo de amarras reduce los riesgos cuando los ángulos verticales en el punto de amarre son elevados.

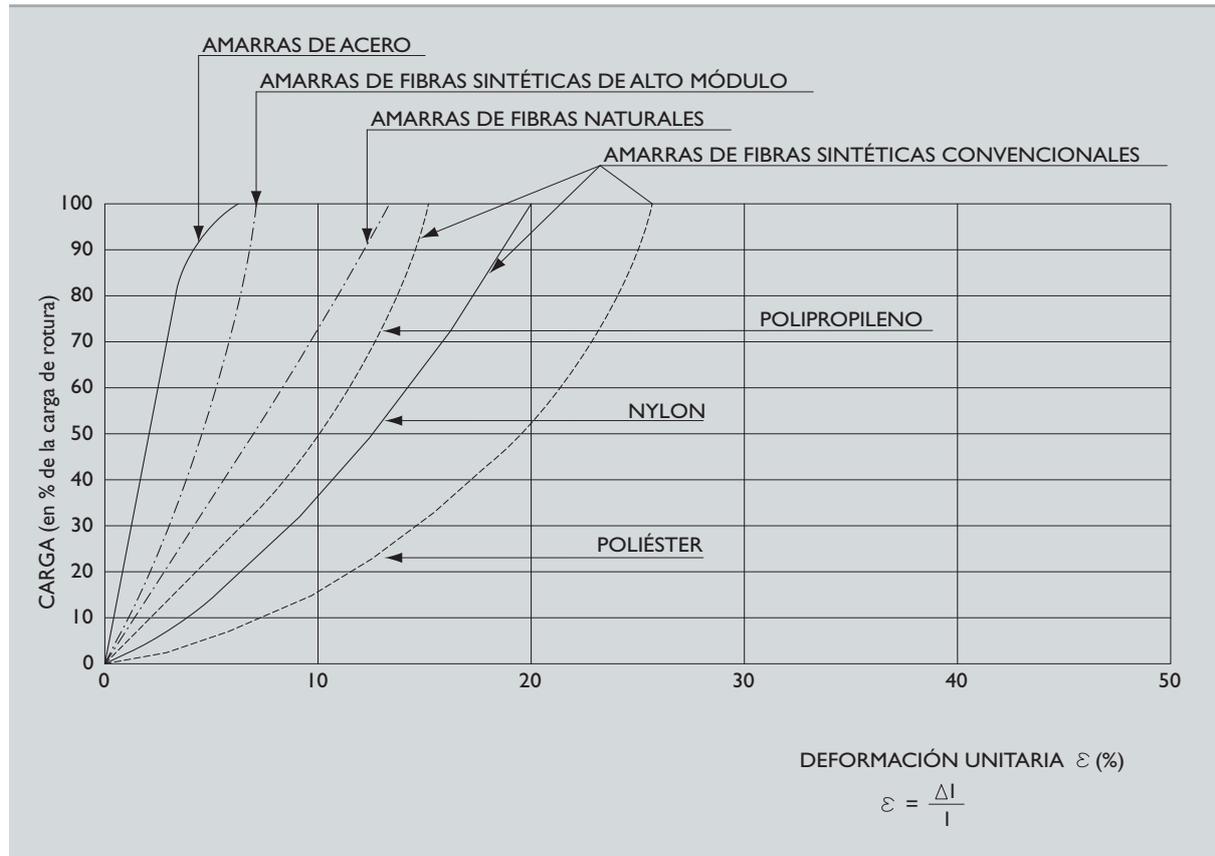
Ejemplos de diagramas tensión-deformación correspondientes a amarras de distintas características se incluyen en la figura 4.6.4.32.

Las características de las líneas de amarre (tipo, material, diámetro o mena y longitud), así como las condiciones tensionales iniciales o continuadas de las mismas a través de dispositivos (chigres) de tensión constante situados en el buque y/o en la terminal, inciden de forma determinante en el comportamiento del sistema de amarre por diferentes razones:

- Las amarras con una mayor capacidad de deformación ante una misma carga actuante (diagramas tensión-deformación más tendidos, menor diámetro o mayor longitud) pueden modificar el comportamiento dinámico del conjunto buque/sistema de amarre/sistema de atraque al aumentar los periodos naturales de oscilación de los movimientos horizontales del buque amarrado (para los que el buque amarrado presenta una baja capacidad de amortiguamiento⁽¹⁰¹⁾), alejándolos para la mayor parte de los buques de los periodos de una gran parte de agentes actuan-

(101) En términos generales, los sistemas de amarre no tienen incidencia en los periodos naturales de oscilación correspondientes a los movimientos verticales del buque amarrado, los cuales siguen siendo aproximadamente los correspondientes al buque en flotación libre. Como, al contrario que para movimientos horizontales, el conjunto buque/sistema de amarre/defensas presenta en general una alta capacidad de amortiguamiento para los movimientos verticales, no son esperables comportamientos resonantes del buque amarrado en lo que respecta a estos movimientos, excepto para el balance cuando actúa el oleaje en dirección básicamente transversal al buque ya que pueden presentarse desfases entre éste y la respuesta del buque, así como acoplamientos entre los movimientos de deriva y balance.

Figura 4.6.4.32. Ejemplos de diagramas tensión-deformación correspondientes a amarras tipo



tes (oleaje, viento, corrientes, ..., excepto ondas largas de muy largo periodo y maremotos), minimizando simultáneamente la amplitud de fluctuación de las cargas de amarre generadas respecto a su valor medio. Es decir, las amarras de estas características respecto a otro tipo de amarras dan lugar a una reducción de las cargas de amarre cuando actúan sobre el buque oscilaciones de periodo corto e intermedio. Por dicha razón son particularmente recomendables cuando el buque está localizado en zonas no abrigadas o para estaciones de transferencia a flote.

No obstante, deberá tomarse en consideración que las amarras con una mayor capacidad de deformación ante una misma carga actuante dan lugar a mayores movimientos del buque que las de menor capacidad, lo que podría dar lugar a una reducción de las ventanas operativas tanto para la realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque como para la permanencia del buque en el atraque, así como a un aumento de los riesgos para la seguridad del buque. Este tipo de amarras también podrían introducir energía cinética adicional al sistema de atraque.

- Líneas de amarre de diferentes características conectadas a los mismos puntos del buque y la obra de atraque asumen diferentes cargas en función de su elasticidad relativa. Las que tienen diagramas tensión-deformación menos tendidos, las de mayor diámetro o las de menor longitud; es decir las más rígidas, absorberán una mayor proporción de la carga. Aunque esta situación es posible que pudiera presentarse, en general no es habitual utilizar líneas de diferentes características en un mismo buque en condiciones de trabajo normales operativas ni utilizar simultáneamente líneas de amarre del buque con líneas disponibles en la terminal, salvo supuestos excepcionales en los que el buque, no pudiendo abandonar el atraque, tuviera que reforzar líneas (p.e. buques de reparación en astilleros o en zonas con tifones o huracanes).
- A igualdad de características de las líneas de amarre, el pretensado inicial de las mismas o la utilización de chigres de tensión constante aumenta la rigidez del sistema de amarre, reduciendo simultáneamente los movimientos del buque y la fluctuación de las cargas en las líneas de ama-

re debido conjuntamente al efecto de las defensas comprimidas y al valor creciente del módulo de deformación con el nivel tensional para la mayor parte de las amarras naturales y sintéticas. En estos casos se modifica el comportamiento del conjunto buque/sistema de amarre/sistema de atraque reduciendo los periodos naturales de oscilación de los movimientos horizontales del buque, alejándolos de los periodos energéticamente relevantes de los agentes actuantes.

Por todo lo anterior, es recomendable que todas las líneas de amarre sean del mismo material, diámetro o mena y longitud entre el cabrestante o chigre del buque y el punto de amarre (bolardo, gancho de escape rápido, roldana, ...) con objeto de conseguir la máxima simetría de cargas sobre el buque. En el caso de que no sea posible, por lo menos deberá cumplirse este principio en las líneas de amarre del mismo servicio: esprines, traveses, largos de proa y popa, amarras de proa, amarras de popa ... (Ver subapartados b y siguientes de este apartado sobre disposiciones tipo de sistemas de amarre para buques amarrados según las diferentes configuraciones físicas de las obras de atraque y condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque). En general, serán preferibles las amarras de material con diagrama tensión-deformación tendidos (fibras naturales o sintéticas convencionales), largas y no en gran número, ya que tienen una mayor capacidad de deformación, responden mejor a esfuerzos dinámicos frente a acciones de periodo corto (oleaje, viento, ...) al aumentar los periodos propios de oscilación del buque amarrado, transmiten menor carga a igualdad de movimientos del buque y además son más fácilmente manipulables (especialmente las sintéticas). La excepción a esta regla se establece para los casos en que se deban restringir al máximo posible los movimientos del buque por limitaciones operativas muy estrictas de algunos equipos o sistemas de manipulación (p.e para buques portacontenedores, ro-ros, ferries y cruceros), por razones de seguridad del buque (p.e. en configuraciones de tormenta, cuando se quiere asegurar la permanencia del buque en el atraque en toda situación sin que se produzcan movimientos del buque no asumibles, o en atraques de mercancías peligrosas (como para buques petroleros y gaseros) o cuando se prevea la presencia de ondas largas o efectos hidrodinámicos inducidos por buques en tránsito, en cuyos casos serán recomendables la utilización de chigres de tensión constante o de amarras más rígidas (de acero, sintéticas de alto módulo de deformación o combinadas en aquellos casos en que además se deba reducir la respuesta dinámica del sistema frente a acciones de periodo corto (como en zonas no abrigadas).

- ◆ *Tipo de sistema de defensas:* El sistema integrado de amarras y defensas presenta un mejor comportamiento cuando ambos elementos tienen rigideces equivalentes en su ámbito, a pesar de que siempre serán más rígidas las defensas que las amarras, hasta órdenes de magnitud de diferencia. En la práctica esto quiere decir que cuando se utilicen amarras de fibras naturales o sintéticas convencionales con alta capacidad de deformación para una misma carga actuante deberá tenderse a utilizar sistemas de defensa con rendimientos energéticos elevados. Por el contrario, cuando se utilicen amarras de mayor rigidez deberá tenderse a utilizar sistemas de defensa de mayor rigidez (Ver apartado 4.6.4.4.3.1.3. a₁₄).

Sin perjuicio de cualquier otra opción que, en aplicación de los anteriores criterios generales, adopte el Proyectista, a la vista de los mismos y tomando en consideración la necesidad de que las líneas de amarre consideradas coincidan con las características de las amarras que normalmente están embarcadas en cada tipo y tamaño de buque, se recomienda adoptar como disposición y características iniciales de las líneas de amarre para la definición del sistema de amarre correspondiente a cada buque y para la determinación de las cargas de amarre las siguientes:

- ◆ *Tipo de línea de amarre*
 - *Para disposiciones o configuraciones del sistema de amarre asociadas a condiciones límite de permanencia del buque en el atraque con dichas configuraciones definidas como Tipo I o Tipo II* ⁽¹⁰²⁾. Esta situación puede establecerse de forma fija, independientemente de las condiciones climatológi-

(102) La definición del significado de condiciones límite de permanencia del buque en el atraque como Tipo I, Tipo II y Tipo III se incluye en la tabla 4.6.4.49.

cas, cuando las condiciones climáticas límite de permanencia absoluta del buque en el atraque sean Tipo I o Tipo II o bien, en tanto no se superen las condiciones climáticas Tipo II, cuando, siendo las condiciones límite de permanencia absoluta en el atraque Tipo III, los criterios de explotación de la instalación prevean configuraciones específicas de tormenta una vez se superen las condiciones climáticas Tipo II.

- Para buques con $\Delta \leq 10.000$ t: amarras de fibras sintéticas convencionales.
- Para buques con $\Delta > 10.000$ t:
 - Petroleros, transportadores de productos petrolíferos, gaseros, portacontenedores, transportadores de coches, ro-ro, ferris y cruceros: amarras combinadas (calabrotes) o de fibras sintéticas de alto módulo.
 - Graneleros y mercantes de carga general: amarras de fibras sintéticas convencionales.
- Para disposiciones o configuraciones del sistema de amarre asociadas a condiciones límite de permanencia del buque en el atraque con dichas configuraciones definidas como Tipo III. Esta configuración puede establecerse de forma fija, independientemente de la situación climatológica, cuando los criterios de explotación de la instalación no prevean configuraciones reforzadas de tormenta o bien, cuando lo prevean, únicamente cuando se superen las condiciones climáticas definidas como Tipo II a los efectos de la permanencia del buque en el atraque:
 - Para buques con $\Delta \leq 10.000$ t: amarras de fibras sintéticas convencionales.
 - Para buques con $\Delta > 10.000$ t: amarras combinadas (calabrotes) o de fibras sintéticas de alto módulo, así como amarras combinadas e incluso amarras de fibras sintéticas convencionales cuando se considere la permanencia del buque en el atraque con oleaje superando los límites establecidos para condiciones Tipo II (ver tabla 4.6.4.49).

◆ Número y diámetro de las líneas de amarre

La disposición del sistema de amarre y el número de líneas de atraque mínimas a considerar asociado a cada disposición será función del tipo y tamaño del buque, de la configuración del atraque y de las condiciones climáticas adoptadas como límite para la permanencia del buque en el atraque con dicha disposición. En los subapartados b), c), d) de este apartado se detallan las disposiciones tipo de líneas de amarre para las distintas configuraciones físicas de atraque, tipo de buque y condiciones climáticas adoptadas como límite para la permanencia del buque en el atraque.

A igualdad de tipo y tamaño de las líneas de atraque, la colocación de un mayor número de líneas de amarre respecto a las disposiciones mínimas recomendadas en los subapartados señalados dificulta su manejo y tensionado, aunque pueda dar lugar a menores movimientos horizontales del buque al ser menores las deformaciones de las amarras al repartirse entre un mayor número de ellas la resultante de las cargas actuantes, ampliándose las ventanas operativas. No obstante, el aumento de líneas de amarre da lugar a un aumento de la rigidez del sistema, pudiendo favorecer el comportamiento resonante del conjunto buque/sistema de amarre/defensas frente a acciones de periodo corto, por lo que no es particularmente recomendable aumentar el número de líneas de amarre en emplazamientos no abrigados frente a la acción del oleaje. Por todo lo anterior, para cada disposición del sistema de amarre es preferible controlar los movimientos del buque a través del tipo, tamaño y longitud de las líneas de amarre que ampliando su número.

Una vez conocido el tipo de línea de amarre, en general se adoptará inicialmente para cada una de las líneas incluidas en la disposición considerada un diámetro de forma que el 50% de su carga última sea mayor o igual que la correspondiente en la línea de atraque con la carga de amarre mínima definida en esta Recomendación en función del desplazamiento del buque, de las condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque y de la configuración del atraque (Ver apartado 4.6.4.4.7.3). El criterio anterior debe ser compatible con un tamaño de amarra que permita su fácil manipulación y tensionado ⁽¹⁰³⁾ y con los diámetros de las que se encuentran usualmente

(103) Como criterio generalmente aceptado puede considerarse que amarras con pesos unitarios hasta 7 kg/m no generan problemas de manipulación y tensionado disponiendo de medios convencionales.

embarcadas en función del tipo y tamaño del buque (Ver epígrafe a. Características de las líneas de amarre de este apartado). En los casos en los que no sea posible se aumentará el número de líneas de amarre reduciendo su diámetro de forma que, manteniendo la carga conjunta de rotura, se reduzca su peso unitario. Lo anterior se establece sin perjuicio de la posterior comprobación de las líneas de amarre para las cargas resultantes. Es este sentido, deberá verificarse que el 50% de la carga última de las líneas de amarre (máxima carga admisible) ⁽¹⁰⁴⁾, sea mayor o igual que el valor característico o de compatibilidad de la carga de amarre máxima más probable en cada uno de los ciclos de sollicitación o condiciones de trabajo en los que se considere la actuación de cargas de amarre (para formulaciones deterministas o determinista-probabilista) o que la probabilidad de que se supere la carga última en dichos ciclos de sollicitación sea menor que 10^{-4} (criterio incondicional de no fallo para estados límite últimos), así como que la probabilidad de que las cargas de amarre en la línea de amarre exceda la máxima carga admisible (criterio incondicional de no fallo para estados límite de servicio) sea menor de 0,05 (para formulaciones probabilistas) ⁽¹⁰⁵⁾. En el caso de que se analice una situación de emergencia ante el fallo de una de las líneas de amarre, se considerará que la máxima carga admisible adoptada para la verificación del resto de las líneas de amarre en dicha situación es del 70% de la carga última.

En caso de incumplimiento será necesaria la reiteración del proceso adoptando un mayor número de líneas de amarre o mayores diámetros siempre que éstos se encuentren usualmente disponibles en el buque considerado.

◆ Longitud de las líneas de amarre

Las líneas de amarre largas presentan ventajas respecto a las cortas desde el punto de vista de la eficiencia en lo que respecta a la resistencia de las cargas actuantes al dar lugar a menores ángulos verticales, así como un menor comportamiento dinámico del buque amarrado ante acciones actuantes de corto periodo, aunque en función de su longitud pueden dar lugar a mayores movimientos del buque para la misma carga actuante, lo que conlleva una reducción de las ventanas operativas y un aumento de los riesgos para la seguridad del buque. A su vez, este comportamiento reduce la posibilidad de que se produzcan sobretensiones en las líneas de amarre largas al disponer de un mayor margen de deformación.

Tomando en consideración el necesario equilibrio entre todos estos aspectos se recomiendan las siguientes longitudes para condiciones climáticas límite de permanencia en atraques Tipo I y II:

- Para configuraciones de atraque tipo muelle, pantalán o duques de alba (buque amarrado lateralmente)
 - Para buques comerciales, pesqueros y para embarcaciones deportivas o de recreo con eslora mayor o igual de 25 m, las dimensiones óptimas de las amarras en carga, desde el punto de amarre en el buque hasta el punto de amarre en la obra de atraque, en situaciones operativas normales variará de 35 a 50 m según el tipo y tamaño de buque, recomendándose que no sea menor de 20 m.
Lo anterior se establece sin perjuicio de que puedan ser más largas cuando sea necesario en función de las características físicas, las condiciones locales en el emplazamiento y el

(104) Del lado de la seguridad, con el objeto de tomar en consideración los efectos de la fatiga, así como del deterioro, durante la vida útil de las amarras y que su carga real de rotura va reduciéndose progresivamente sobre la teórica, es recomendable considerar como máxima carga admisible el 40% de la carga última en lugar del 50% cuando no quede garantizado por requerimientos de explotación o de seguridad del buque una adecuada renovación y mantenimiento de las amarras. Por otra parte, en los buques con dispositivos de tensión constante el escalón más alto de tensión suele ser del orden del 40% de la carga de rotura de la amarra, por lo que es recomendable también por dichas razones adoptar este valor como máxima carga admisible para tomar en consideración que los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque dispongan y utilicen dispositivos de tensión constante, siempre y cuando se considere por criterios de explotación que éstos no puedan bloquearse al alcanzarse la escala más alta de tensión, continuando el buque en el puesto de atraque.

(105) Quedan exceptuadas de estas comprobaciones las condiciones de operación correspondientes a las maniobras de atraque cuando se considere la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante las maniobras de atraque.

equipamiento del atraque. En particular, la longitud de los largos, cuando las cargas sobre el buque actúan preponderantemente en un único sector direccional o cuando existan cargas longitudinales importantes, puede no ajustarse a las medidas recomendadas.

- Para embarcaciones pesqueras, deportivas o de recreo con esloras menores de 25 m podrán considerarse las siguientes longitudes óptimas:
 - Largos: $0,3L$
 - Traveses: $0,4B$
 - Esprines: $0,8L$
 Siendo L y B la eslora total de la embarcación y su manga, respectivamente.

- Para configuraciones de atraque tipo monoboya, monodique de alba o campos de boyas (buque amarrado por proa y/o popa)

- Para buques comerciales y pesqueros, así como para embarcaciones deportivas y de recreo con eslora mayor o igual a 25 m, las longitudes oscilarán entre 40 – 55 m en función del tamaño de buque o embarcación (Ver apartado 8.8 de la ROM 3.1-99).
- Para embarcaciones pesqueras, deportivas o de recreo con esloras menores de 25 m podrá considerarse que las longitudes óptimas son $0.30 L$, siendo L la eslora total de la embarcación (Ver apartado 8.8 de la ROM 3.1-99).

Para condiciones climáticas de permanencia del buque en el atraque Tipo III (disposiciones de tormenta) pueden alcanzarse longitudes mayores de hasta 2.5 veces las definidas para condiciones Tipo I y II.

b) Disposición estándar de sistemas de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado a un muelle, pantalán o conjunto de duques de alba

Para buques amarrados lateralmente a una obra de atraque, se consideran diferentes disposiciones estándar de sistemas de amarre en función del desplazamiento y tamaño del buque, de la configuración del atraque y de las condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque asociadas a cada disposición.

A estos efectos, se diferenciarán las siguientes condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque, en función de la intensidad de los agentes:

- ◆ Condiciones Tipo I y II.
- ◆ Condiciones Tipo III (condiciones de tormenta).

La clasificación y definición de las condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque como Tipo I, II ó III se incluye en la tabla 4.6.4.49.

Las disposiciones estándar del sistema de amarre en función del desplazamiento y tamaño del buque y de la configuración del atraque, para cada una de estas condiciones climáticas, se recogen en las tablas 4.6.4.50, 4.6.4.51, 4.6.4.52, 4.6.4.53 y 4.6.4.54.

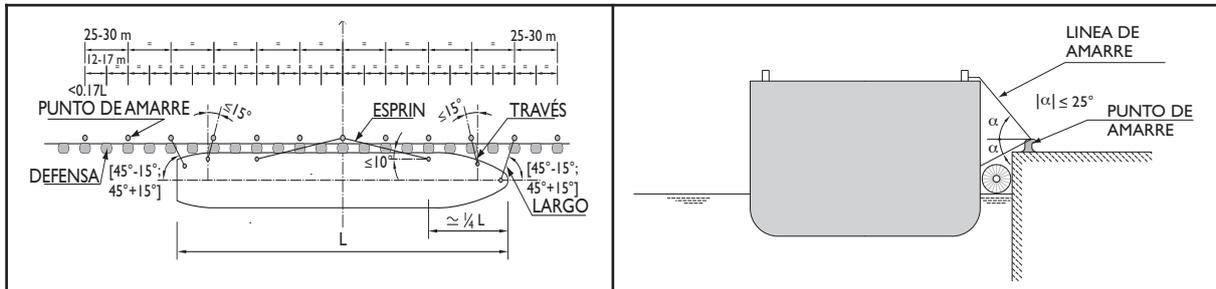
Las configuraciones estándar de sistemas de amarre incluidas en esta Recomendación deberán considerarse únicamente como un adecuado punto de partida, sin perjuicio de que deban adaptarse y optimizarse para cada emplazamiento y situación concretos en función de las características y frecuencia de los agentes actuantes ⁽¹⁰⁶⁾. En algunos casos, los niveles de operatividad de una terminal pueden variar mucho con la aplicación de dicho procedimiento de optimización.

(106) Por ejemplo, los oleajes de 20 s de periodo son excepcionales en el Océano Atlántico, pero frecuentes en el Océano Pacífico, con lo que configuraciones muy recomendables en el primero pueden resultar no totalmente adecuadas para el Pacífico.

Tabla 4.6.4.49. Clasificación y definición de condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque

A. PARA BUQUES CON $L \geq 25$ M								
		TIPO I	TIPO II		TIPO III			
Velocidad del viento ($V_{v,1 \text{ min}}$)		< 17 m/s	< 17 m/s	entre 17 y 25 m/s	< 25 m/s	entre 17 y 25 m/s	≥ 25 m/s	Cualquier valor
Velocidad de la corriente ($V_{C,10 \text{ min}}$)		< 1 m/s	≥ 1 m/s	< 1 m/s	< 1 m/s	≥ 1 m/s	< 1 m/s	Cualquier valor
Oleaje u ondas producidas por buques en tránsito ¹⁾	Altura de la ola ($H_{1/3}$ para oleaje ó $H_{b,max}$ para ondas producidas por buques en tránsito)	< 2 m para $\Delta \geq 3000$ t < 1 m para $\Delta < 3000$ t	< 2 m para $\Delta \geq 3000$ t < 1 m para $\Delta < 3000$ t	≥ 2 m para $\Delta \geq 3000$ t ≥ 1 m para $\Delta < 3000$ t	< 2 m para $\Delta \geq 3000$ t < 1 m para $\Delta < 3000$ t	≥ 2 m para $\Delta \geq 3000$ t ≥ 1 m para $\Delta < 3000$ t		
	Periodo (\bar{T} para oleaje ó T_b para ondas generadas por buques en tránsito)	Cualquier valor	Cualquier valor	< 10 s para $\Delta \geq 3000$ t < 8 s para $\Delta < 3000$ t	Cualquier valor	≥ 10 s para $\Delta \geq 3000$ t ≥ 8 s para $\Delta < 3000$ t		
Ondas largas (T) ²⁾		No	No		No			
B. PARA BUQUES CON $L < 25$ M								
Velocidad del viento ($V_{v,15 \text{ s}}$)		< 18 m/s	< 18 m/s	entre 18 y 23 m/s	< 23 m/s	entre 18 y 23 m/s	≥ 23 m/s	Cualquier valor
Velocidad de la corriente ($V_{C,10 \text{ min}}$)		< 1 m/s	≥ 1 m/s	< 1 m/s	< 1 m/s	≥ 1 m/s	< 1 m/s	–
Oleaje u ondas producidas por buques en tránsito ¹⁾	Altura de la ola ($H_{1/3}$ para oleaje ó $H_{b,max}$ para ondas producidas por buques en tránsito)	< 0,4 m	< 0,4 m	< 0,4 m	< 0,4 m	$\geq 0,4$ m		
	Periodo ⁴⁾ (\bar{T} para oleaje ó T_b para ondas generadas por buques en tránsito)	> 8 s	> 8 s	< 8 s	Cualquier valor	Cualquier valor		
Ondas largas (T) ³⁾		Cualquier valor	Cualquier valor		Cualquier valor			
Notas								
1) Deberá quedar garantizado que no se produce rotura del oleaje o de las ondas producidas por buques en tránsito durante la permanencia del buque en el atraque. Es decir, no se considerará que el buque puede permanecer en el atraque cuando se produzca rotura del oleaje o de las ondas generadas por buques en tránsito.								
2) Para buques con eslora ≥ 25 m, siempre que se prevea la permanencia del buque en el atraque cuando se presenten oscilaciones marinas, tanto progresivas como estacionarias o cuasiestacionarias (dársenas resonantes) de periodo intermedio entre $30 \text{ s} < T < 120 \text{ s}$ se considerarán condiciones Tipo III, ya que los periodos naturales de oscilación de los movimientos horizontales de estos buques cuando están amarrados pueden estar próximos a estos periodos dependiendo del desplazamiento del buque, de la configuración y características del sistema de amarre y defensas y de la tensión de las líneas de amarre, y, además, a estos efectos el conjunto buque/sistema de amarre/defensas tiene muy baja capacidad de amortiguamiento.								
3) Los buques con eslora < 25 m no son afectados por las ondas largas en lo que respecta a la posibilidad de que se produzcan amplificaciones resonantes de las cargas de amarre, ya que los periodos de oscilación de los movimientos de estos buques cuando están amarrados suelen estar alejados de los periodos de las ondas largas. Por tanto, para este tipo de buques la presencia de ondas largas no será un parámetro significativo para la clasificación y definición de las condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque, salvo en lo que respecta al valor de las corrientes inducidas que puedan presentarse, las cuales se tomarán en consideración a estos efectos de acuerdo con lo dispuesto en la tabla para la velocidad de la corriente. Lo anterior se establece sin perjuicio de otros efectos que pueden producir las ondas largas en las obras de atraque para este tipo de embarcaciones, los cuales deberán tomarse en consideración (p.e. para determinación de niveles de coronación de las obras de atraque, fenómenos de resonancia en estructuras de atraque flotantes, ...).								
4) Al contrario que los buques con eslora ≥ 25 m, los buques con eslora < 25 m son afectados tanto por los oleajes de pequeño periodo como de periodo alto. No obstante lo anterior, con independencia de la altura de ola, las ondas de muy corto periodo (< 8 s) pueden afectar a estos buques en mayor medida ya que los periodos de oscilación de los movimientos horizontales y verticales de estos buques cuando están amarrados suelen estar próximos a estos periodos.								

Tabla 4.6.4.50. Disposición estándar del sistema de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque continua (muelle o pantalán continuo), para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en atraques tipos I y II (para buques con $L \geq 25$ m)



Para buques con eslora $L \geq 25$ m, amarrados lateralmente a una obra de atraque continua, considerando condiciones climáticas límite de permanencia en atraques Tipo I y II, la disposición óptima del sistema de amarre es la siguiente:

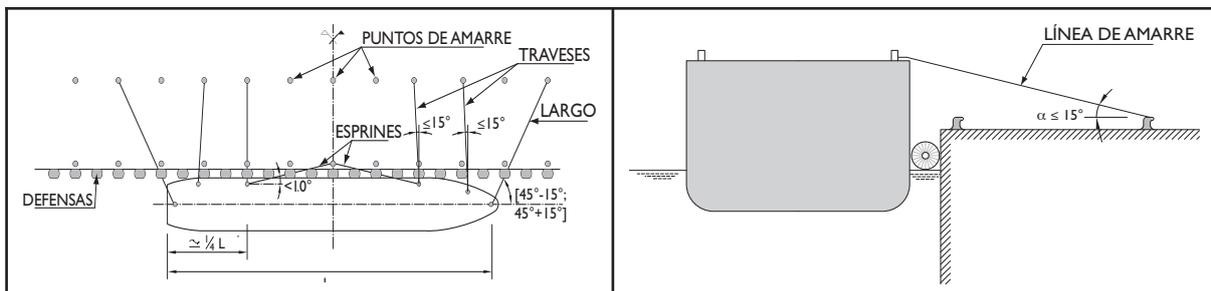
- El sistema de amarre estará formado, en la medida de lo posible, por traveses, esprines y largos, dispuestos simétricamente respecto al centro geométrico del buque. No obstante, no se dispondrán traveses cuando no sea posible mantener en los mismos, en todas las situaciones de permanencia del buque en el atraque, los ángulos verticales u horizontales de los mismos por debajo de los límites establecidos. Tampoco se dispondrán traveses cuando, no disponiendo el buque de maquinillas de tensión constante o de guardias de la tripulación con el mandato de mantener la tensión en las amarras, pueda producirse el destensado de los mismos por causa de los agentes climáticos u operacionales actuantes (p.e. común en puertos con marea astronómica significativa).
 - Traveses: se situarán lo más a proa y popa posible. Se dispondrán sensiblemente perpendiculares al eje longitudinal del buque, pero considerándose admisibles disposiciones con tolerancias de $\pm 15^\circ$ respecto a la perpendicular, con el objeto de que esta disposición pueda compatibilizarse con la posición de los puntos de amarre (bolardos, ...). El ángulo vertical máximo que forme el través con la horizontal no superará $\pm 25^\circ$ en todos los estados climáticos considerados como condiciones Tipo I y II de permanencia del buque en el atraque, así como en todas las situaciones de carga del buque en dichas condiciones. La disposición básica incluye un través en proa y otro en popa. No obstante el número de traveses podrá aumentarse, duplicándose sobre un mismo punto de amarre o situando más en puntos intermedios de la eslora, con objeto de compatibilizar las cargas de amarre resultantes con las cargas última y admisible de las amarras disponibles y de los puntos de amarre considerados.
 - Esprines: se situarán saliendo del buque a distancias de la proa y de la popa equivalentes a $1/4$ de la eslora. Se dispondrán tan paralelas como sea posible al eje longitudinal del buque sin cruzarse entre ellas, si es posible, o con los traveses. Son admisibles disposiciones con ángulos horizontales de hasta 10° con la línea de atraque. Igualmente que para el caso de los traveses, el ángulo vertical máximo que forme el esprin con la horizontal no superará $\pm 25^\circ$ en todos los estados climáticos considerados como Tipo I ó II de permanencia del buque en el atraque, así como en todas las situaciones de carga del buque en dichas condiciones. La disposición básica incluye dos esprines, pudiéndose duplicar cada uno de ellos con el objeto de compatibilizar las cargas de amarre resultantes con las cargas última y admisible de las amarras disponibles. Para grandes buques pueden también admitirse la disposición de dos pares de esprines, ubicándose entonces simétricamente a proa y popa.
 - Largos: se situarán a proa y a popa. Se colocarán formando ángulos horizontales de 45° con la línea de atraque alejándose de la proa o popa respectivamente, admitiéndose tolerancias de hasta $\pm 15^\circ$ con el objeto de que esta disposición pueda compatibilizarse con la posición de los puntos de amarre (bolardos, ...). El ángulo vertical máximo que forme el largo con la horizontal no superará $\pm 25^\circ$ en todos los estados climáticos considerados como condiciones Tipo I y II de permanencia del buque en el atraque, así como en todas las situaciones de carga del buque en dichas condiciones. La disposición básica incluye un largo en proa y otro en popa. No obstante el número de largos podrá aumentarse, duplicándose sobre un mismo punto de amarre, con objeto de compatibilizar las cargas de amarre resultantes con las cargas última y admisible de las amarras disponibles. La disposición de largos es particularmente recomendable cuando las cargas predominantes sobre el buque actúen básicamente provenientes de un único sector direccional o se utilicen como elementos auxiliares para las operaciones de atraque y desatraque.
- Deberá disponerse un número suficiente de puntos de amarre y con un espaciamiento y altura tal que permita el amarre de todos los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque con la disposición tipo de amarras definida en esta tabla. En general, puntos de amarre situados en el cantil de la obra de atraque, sobre la coronación de la misma y con una separación entre ejes de 25 a 30 m suelen permitir estas disposiciones. La separación mínima entre la línea de atraque (cantil) y la parte más exterior del punto de amarre será, en todo caso, de 0,15 m. Se procurará, siempre que sea posible, situar los puntos de amarre en el eje de simetría de la sección resistente de la obra de atraque para mantener la simetría de cargas sobre la misma, debiéndose compatibilizar este principio con su espaciamiento. En caso contrario, la obra de atraque deberá resistir los momentos que puedan generarse.
- El número y separación entre ejes de defensas se definirá en función de los criterios establecidos a estos efectos en el apartado 4.6.4.4.3.2 correspondiente a los criterios para la elección del tipo y características del sistema de atraque. Sin perjuicio de lo anterior, se recomienda que la distancia entre defensas aisladas no exceda de 0,15-0,17L, siendo L la menor eslora de los buques esperables en el atraque, ni de 12-17 m. Se procurará, siempre que sea posible, situar las defensas en el eje de simetría de la sección resistente de la obra de atraque o simétricamente respecto a su eje de simetría, debiéndose compatibilizar este principio con su espaciamiento.

Con esta disposición óptima del sistema de amarre y con los tipos y longitudes de líneas de amarre recomendados en este apartado (ver subapartado a. criterios generales), los periodos naturales de oscilación del conjunto buque/sistema de amarre/defensas que se presentan son del siguiente orden de magnitud:

Disposición estándar del sistema de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque continua (muelle o pantalán continuo), para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en atraques tipos I y II (para buques con $L \geq 25$ m) (continuación)

- Los correspondientes a movimientos horizontales de los buques amarrados (deriva, vaivén y guiñada) suelen estar en el rango entre 15 y 120 s, dependiendo del tipo y desplazamiento del buque, de las características de los sistemas de amarre y defensas y de la tensión de las líneas de amarre. Los periodos más bajos están asociados a los buques con menor desplazamiento (pequeños o mayores en situación de carga parcial o en lastre), a sistemas de amarre y defensa más rígidos y a líneas de amarre más tensionadas.
- Los correspondientes a movimientos verticales de los buques amarrados (altea, balance y cabeceo) suelen estar en el rango entre 8 y 20 s, dependiendo del tipo y desplazamiento del buque pero no de la disposición del sistema de amarre. Los periodos más bajos están asociados a los buques de menor desplazamiento (los más pequeños o mayores en situación de lastre).

Tabla 4.6.4.51. Disposición estándar del sistema de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque continua (muelle o pantalán continuo), para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque tipo III (para buques con $L \geq 25$ m)



Para buques con eslora $L \geq 25$ m, amarrados lateralmente a una obra de atraque continua, considerando condiciones climáticas límite de permanencia en el atraque Tipo III, la disposición óptima del sistema de amarre es la siguiente:

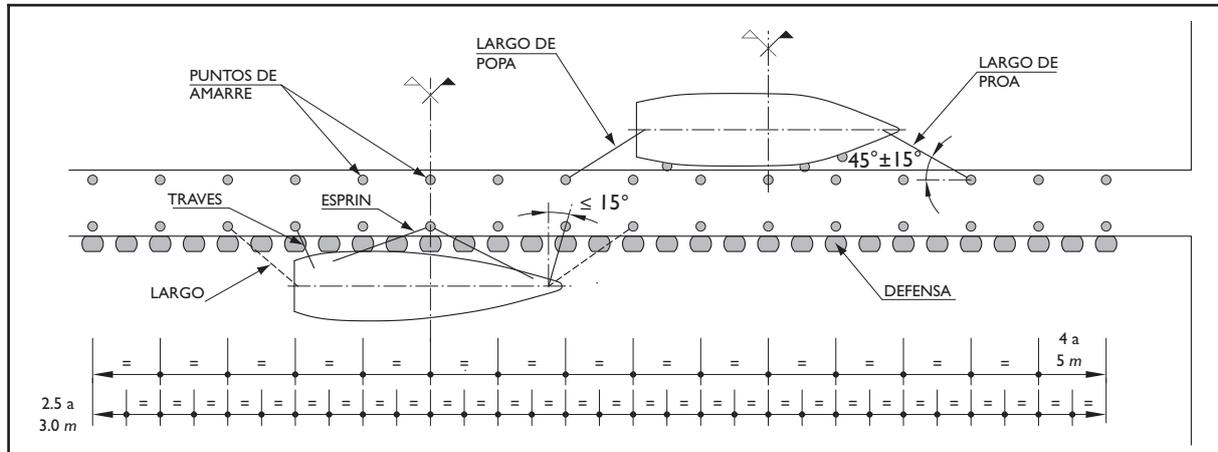
- El sistema de amarre estará formado por traveses, esprines y largos, dispuestos simétricamente respecto al centro geométrico del buque. La disposición de estas líneas de amarre deberá seguir los criterios desarrollados para condiciones climáticas Tipos I y II (Ver tabla 4.6.4.50) con las siguientes excepciones:
 - Las longitudes de las líneas de amarre deben ser mayores con el objeto de que los ángulos verticales de cada una de las líneas de amarre sean mucho más tendidos para mejorar tanto la eficiencia y capacidad del sistema de amarre para resistir las cargas actuantes como el comportamiento dinámico del buque amarrado frente a acciones de corto periodo. A su vez, líneas de amarre más largas reducen la posibilidad de que se produzcan sobretensiones al disponer de un mayor margen de deformación. El ángulo vertical máximo que formen los traveses, esprines y largos con la horizontal no superará $\pm 15^\circ$ en todos los estados climáticos considerados como condiciones Tipo III de permanencia del buque en el atraque, así como en todas las situaciones de carga del buque en dichas condiciones.
 - Se aumentará el número de líneas de amarre, particularmente de traveses y esprines, duplicándose sobre el mismo punto de amarre o situando más en puntos intermedios de la eslora, con el objeto de repartir las resultantes de las cargas actuantes entre más líneas y puntos de amarre y, por tanto, reducir las deformaciones de las amarras y consiguientemente los movimientos horizontales del buque, así como compatibilizar las cargas horizontales de amarre resultantes con la carga última y admisible de las amarras disponibles y de los puntos de amarre.
- Deberá disponerse de un número suficiente de puntos de amarre y con un espaciamiento y altura tal que permita el amarre de todos los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque con la disposición tipo de amarras definida en esta tabla. En general, estas disposiciones son permitidas complementando los puntos de amarre situados en el cantil definidos en la tabla 4.6.4.50 con otra alineación paralela a la anterior con mayor o igual espaciamiento entre puntos de amarre, situada en la frontera lado tierra del área de operación o incluso más allá (en el caso de muelles) o, en su caso, en el lado de dicha área opuesto al cantil (p.e. en el caso de pantalanes atracables o no por ambos lados). No obstante lo anterior, para grandes buques las configuraciones tipo pantalán continuo difícilmente permiten disposiciones de puntos de amarre compatibles con condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque Tipo III.
- El número y separación entre ejes de defensas se definirá de igual forma que para condiciones Tipos II y III de permanencia del buque en el atraque (Ver tabla 4.6.4.50).
- En caso necesario para mantener el buque en el atraque en condiciones seguras, la disposición tipo del sistema de amarre para condiciones climáticas de permanencia del buque en el atraque Tipo III puede contemplar adicionalmente la introducción de coderas de iguales características que los largos, así como el auxilio de remolcadores. La definición de las coderas se incluye en la tabla 4.6.4.54.

Esta disposición de amarras, complementada con la normal utilización en estos casos de amarras de acero para disminuir los movimientos del buque (ver subapartado a. criterios generales de este apartado), puede dar lugar a que los periodos naturales de oscilación correspondientes a los movimientos horizontales del buque amarrado sean del orden de los valores inferiores del rango de variación consignado en la tabla 4.6.4.50. Por dicha razón, aunque no es usual que una configuración continua de atraque esté emplazada en zonas no abrigadas frente a la acción del oleaje y, en el caso de que lo sea, se considere la permanencia del buque en el atraque en condiciones Tipo III, en los casos que así sea deberá comprobarse específicamente que la disposición adoptada no da lugar a periodos naturales de oscilación del buque amarrado similares a los del oleaje actuante, con el objeto de evitar el comportamiento resonante del sistema. Por el contrario, esta disposición del sistema de amarre, si se utilizan amarras de fibras naturales o sintéticas, puede dar lugar a periodos de oscilación correspondientes a los movimientos horizontales del buque próximos a los de las ondas largas, por lo que es totalmente desaconsejable la utilización de este tipo de amarras cuando puedan presentarse este tipo de agentes. Los periodos de oscilación del buque correspondientes a movimientos verticales no dependen de la disposición del sistema de amarre (ver tabla 4.6.4.50).

Tabla 4.6.4.52. Disposición estándar del sistema de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque continua, con pantalán discontinuo o solución mixta (para buques con $L \geq 25$ m)

PANTALAN DISCONTINUO	SOLUCIÓN MIXTA (DUQUES DE ALBA CON PLATAFORMA)
<p>– Para buques con eslora $L \geq 25$ m, amarrados lateralmente a una obra de atraque discontinua, serán de aplicación las disposiciones óptimas de líneas de amarre definidas para configuraciones del atraque continuas, tipo muelle y pantalán continuo (ver tablas 4.6.4.50 y 4.6.4.51, respectivamente para condiciones climáticas límite de permanencia de buque en el atraque tanto Tipos I y II como Tipo III).</p> <p>– Debido a que las configuraciones de atraque discontinuas, bien sean del tipo pantalán o bien del tipo solución mixta (duques de alba con plataforma), se diferencian de las correspondientes a atraques continuos en que, sin perjuicio de poder tener en algunos casos funciones compartidas, suelen estar en gran medida formadas por estructuras específicas de atraque y de amarre física y funcionalmente separadas entre si y, ambas, de la plataforma de servicio, para la definición del número y distribución de los puntos de amarre y defensas se seguirán en estos casos los siguientes criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deberá disponerse, simétricamente respecto al centro geométrico del buque, un número suficiente de estructuras de amarre y con una disposición y altura que permita el amarre de todos los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque con la disposición tipo de amarras definida en las tablas 4.6.4.50 y 4.6.4.51 en función de que las condiciones adoptadas para la permanencia del buque en el atraque sean Tipos I y II o Tipo III. Para ello, puede considerarse que estructuras de atraque puedan ser simultáneamente de amarre (para esprines y traveses), así como utilizar las plataformas auxiliares como estructuras de amarre (para esprines), aunque procurando que las líneas de amarre no se crucen sobre la plataforma. En general, para soluciones mixtas (duques de alba con plataforma), las estructuras de amarre para traveses y largos con centros de simetría situados a una distancia de 35 a 50 m de la línea de atraque suelen adaptarse a las disposiciones de amarras establecidas tanto para condiciones climáticas de permanencia del buque en el atraque Tipos I y II como Tipo III. Para grandes buques, las configuraciones tipo pantalán discontinuo no favorecen una disposición de puntos de amarre compatible con condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque Tipo III. Los puntos de amarre se situarán en los ejes de simetría de las estructuras de amarre para mantener la simetría de cargas sobre la misma y preferentemente, cuando sea posible, en su centro de simetría. En caso contrario, deberán resistir los momentos que puedan generarse. • Las estructuras específicas de atraque o, en su caso, las defensas en las plataformas auxiliares deben estar situadas simétricamente respecto al centro geométrico del buque con un espaciamiento del orden de 1/3 de la eslora de todos los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, siempre y cuando con estas distancias el apoyo del buque en las estructuras de atraque se realice en la zona recta del casco del buque. En el caso que no fuera así serían admisibles distancias menores. No obstante, menores espaciamientos que los recomendados con carácter general podrían dar lugar a mayores movimientos de guiñada para las mismas cargas actuantes, reduciendo las ventanas operativas, mayores periodos naturales de oscilación para este movimiento, así como producir mayores esfuerzos de compresión en las defensas, siendo necesarios sistemas de defensas con una mayor capacidad de absorción de energía. En los casos en que el rango de buques de la flota esperable sea amplio podrán admitirse tolerancias entre el 25% y el 40% de la eslora de los buques. En caso de que no fuera posible compatibilizar estos valores de los espaciamientos para todos los buques de la flota esperable con dos estructuras de atraque o defensas deberán colocarse adicionalmente otras estructuras de atraque o defensas intermedias. Se procurará, siempre que sea posible, disponer las defensas en el eje de simetría de la sección resistente o, en el caso de que las plataformas auxiliares tengan funciones de estructuras de atraque, simétricamente respecto a su eje de simetría. <p>– Con esta disposición óptima del sistema de amarre y defensa y con los tipos y longitudes de las líneas de amarre recomendadas en este apartado (ver subapartado a. criterios generales), los periodos naturales de oscilación del buque amarrado en estructuras de atraque con configuraciones discontinuas están en rangos similares a los que se presentan cuando el buque está amarrado en estructuras de atraque con configuraciones continuas con las disposiciones óptimas del sistema de amarre definidas para las mismas (ver tablas 4.6.4.50 y 4.6.4.51).</p>	

Tabla 4.6.4.53. Disposición estándar del sistema de amarre para embarcación amarrada de costado a una obra de atraque continua, para condiciones climáticas límite de permanencia de la embarcación en los atraques tipos I y II (para embarcaciones con $L < 25$ m)



Para embarcaciones con eslora $L < 25$ m amarradas lateralmente o de costado a una obra de atraque continua, considerando condiciones climáticas límite de permanencia de la embarcación en el atraque Tipo I y Tipo II, la disposición óptima del sistema de amarre es la siguiente:

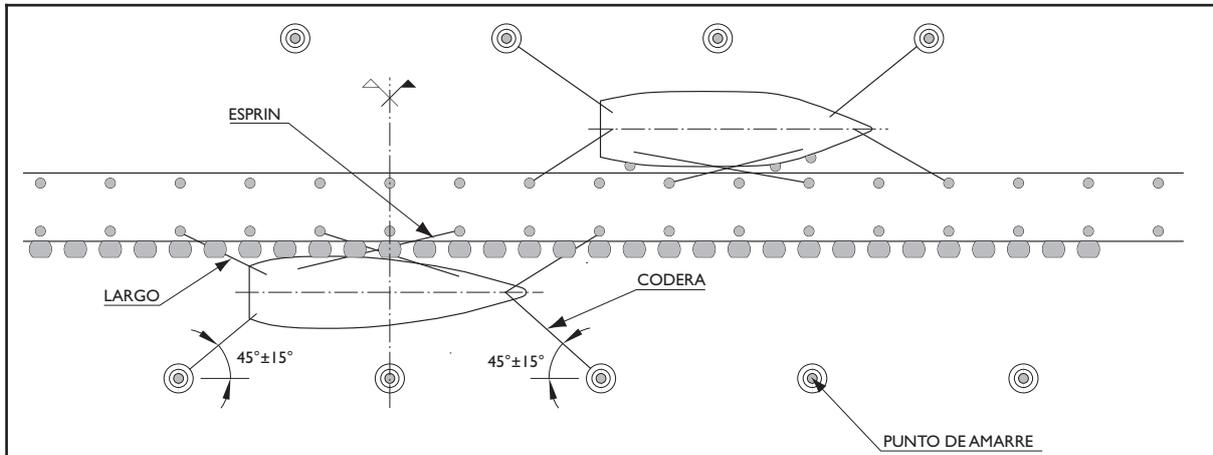
- El sistema de amarre puede estar formado por esprines, traveses y largos, saliendo de la embarcación lo más a proa y popa posible, dispuestos simétricamente respecto al centro geométrico de la embarcación. En general, para condiciones climáticas Tipo I y II de permanencia de la embarcación en el atraque será preferible considerar como disposición básica únicamente un traves y un esprín tanto a proa como a popa, prescindiendo de los largos. No obstante lo anterior, dada la pequeña obra muerta y superficie sumergida que presentan este tipo de embarcaciones, es admisible sustituir los traveses y sprines por largos, aunque esta disposición supone una mayor ocupación de línea de atraque por embarcación, particularmente cuando las cargas predominantes sobre la embarcación actúen básicamente provenientes de un único sector direccional, la situación de los puntos de amarre respecto al cantil o su separación entre ellos no permitan mantener los ángulos verticales u horizontales de los traveses por debajo de los límites establecidos o se utilicen largos como elementos auxiliares para facilitar las operaciones de atraque o desatraque. Para cada uno de los tipos de líneas de amarre, serán de aplicación las limitaciones en planta y alzado establecidas para estos mismos tipos de líneas cuando los buques tienen una eslora $L \geq 25$ m (Ver tabla 4.6.4.50).
 - Deberá disponerse un número suficiente de puntos de amarre y con un espaciamiento que permita el amarre de todas las embarcaciones pertenecientes a la flota esperable en el atraque con la disposición tipo de amarras definidas en esta tabla. En general, puntos de amarre situados en el cantil de la obra de atraque, sobre la coronación de la misma y con una separación entre ejes de 4 a 5 m suelen permitir estas disposiciones. La separación mínima entre la línea de atraque (cantil) y la parte más exterior del punto de amarre será de 0,08 m. Se procurará, siempre que sea posible, situar los puntos de amarre en el eje de simetría de la sección resistente de la obra de atraque para mantener la simetría de cargas sobre la misma, debiéndose compatibilizar este principio con su espaciamiento. En caso contrario, la obra de atraque deberá resistir los momentos que puedan generarse.
 - En caso de disponer defensas fijas en la obra de atraque, se recomienda que la distancia entre defensas aisladas esté en el rango entre 2,5 y 3,0 m. Se procurará, siempre que sea posible, situar las defensas en el eje de simetría de la sección resistente de la obra de atraque o simétricamente respecto a su eje de simetría, debiéndose compatibilizar este principio con su espaciamiento.
- Con esta disposición óptima del sistema de amarre y con los tipos y longitudes de líneas de amarre recomendados en este apartado (ver subapartado a. criterios generales), los periodos naturales de oscilación del conjunto embarcación/sistema de amarre/defensas que se presentan son del siguiente orden de magnitud:
- Los correspondientes tanto a movimientos horizontales de las embarcaciones amarradas (deriva, vaivén y guiñada) como a verticales (altea, balance y cabeceo) suelen estar en el rango entre 2 y 10 s, dependiendo del desplazamiento de la embarcación. Los periodos más bajos están asociados a las embarcaciones de menor desplazamiento entre las que tienen una eslora menor de 25 m.

c) Disposición estándar de sistemas de amarre para buque amarrado por proa a un único punto de amarre: monoboya o monoduque de alba (amarraderos de orientación libre)

Para buques amarrados por proa a un único punto de amarre, sea una monoboya o monoduque de alba, la disposición básica del sistema de amarre estará formada por una única enfilación de amarre dispuesta entre la proa del buque y la estructura de amarre, constituida, en función de las características de las amarras que se considere que van a estar disponibles en el amarradero ⁽¹⁰⁷⁾, por una o excepcionalmen-

(107) En general, en este tipo de obras, al contrario que en otras configuraciones de atraque, se utilizan amarras que se encuentran permanentemente almacenadas a flote en el amarradero y no embarcadas en el buque. Por dicha razón, el tamaño de las amarras que se consideran que deben estar disponibles en el amarradero es, en general, función del buque de máximo desplazamiento esperable en el atraque,

Tabla 4.6.4.54. Disposición estándar del sistema de amarre para embarcación amarrada de costado a una obra de atraque continua, para condiciones climáticas límite de permanencia de la embarcación en el atraque tipo III (para embarcaciones con $L < 25$ m)



Para embarcaciones con eslora $L < 25$ m amarradas lateralmente o de costado a una obra de atraque continua, considerando condiciones climáticas límite de permanencia de la embarcación en el atraque Tipo III, la disposición óptima del sistema de amarre es la siguiente:

- La disposición básica del sistema de amarre estará formada en la medida de lo posible tanto por traveses y esprines como por largos, dispuestos simétricamente respecto al centro geométrico de la embarcación. La disposición de estas líneas de amarre deberá seguir los criterios desarrollados para condiciones climáticas Tipos I y II (Ver tabla 4.6.4.53) con las siguientes excepciones:
 - El ángulo vertical máximo que formen las líneas de amarre con la horizontal no superará $\pm 15^\circ$ en todos los estados climáticos considerados como condiciones Tipo III. Para algunas líneas de amarre (fundamentalmente los traveses) alcanzar este ángulo en algunos casos puede dar lugar a condiciones funcionales y de seguridad no admisibles para la instalación al ocupar toda el área de operación e incluso dar lugar al cruce de líneas. Esto es particularmente relevante cuando la configuración de la obra de atraque sea del tipo pantalán atracable o no a ambos lados, con áreas de operación de anchura reducida (0,8-2,5 m), muy común para este tipo de embarcaciones. Por dicha razón, cuando esto se produzca es conveniente suprimir los traveses, manteniendo esprines y largos.
 - Se introducirá un nuevo tipo de línea de amarre denominada "codera" por el costado contrario a la obra de atraque donde está atracada la embarcación, con el objeto de resistir las cargas que tienden a acostar la embarcación a la obra de atraque y reducir los movimientos horizontales y de la embarcación contra el sistema de atraque. Las coderas saldrán de la embarcación lo más a proa y popa posible, disponiéndose también simétricamente respecto al centro geométrico de la embarcación. La disposición básica estará formada por una codera a proa y otra a popa. Para este tipo de líneas de amarre serán de aplicación las limitaciones en planta y alzado establecidas para los largos. El punto de amarre para las coderas puede ser tanto una obra de atraque o amarre (pantalán, boya, ...) como otra embarcación (Ver figura de esta tabla).
- El número y separación de puntos de amarre y defensas se definirá de igual forma que para condiciones Tipos I y II de permanencia de la embarcación en el atraque.

Esta disposición de amarras puede dar lugar a que los periodos naturales de oscilación correspondientes a los movimientos horizontales de la embarcación amarrada sean del orden de los valores inferiores del rango de variación consignado en la tabla 4.6.4.53. Los periodos de oscilación de la embarcación correspondientes a movimientos verticales no dependen de la disposición del sistema de amarre (ver tabla 4.6.4.53).

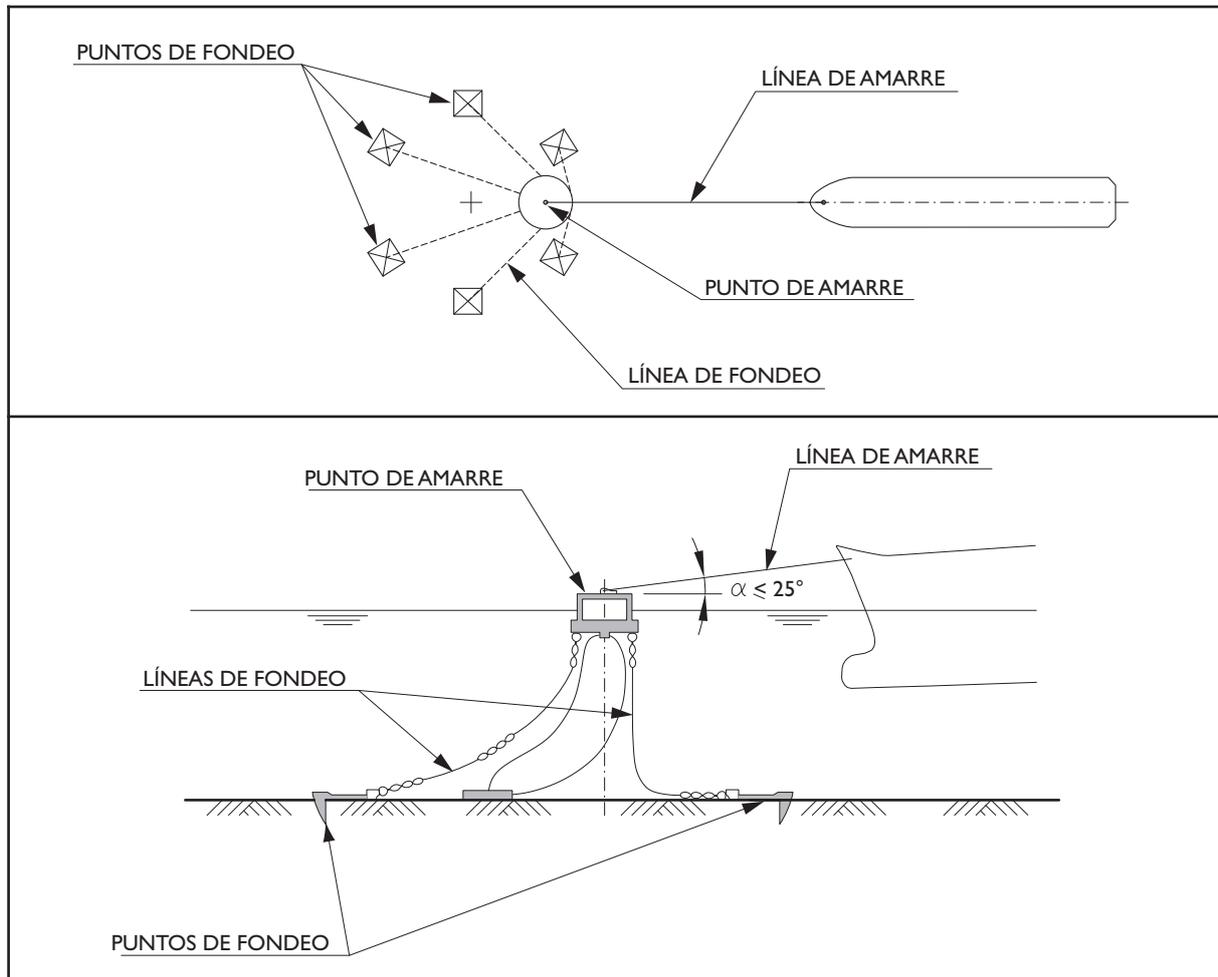
te por dos o más líneas de amarre. En el caso de que se consideren varias líneas de amarre su número deberá ser par con el objeto de mantener la simetría de cargas tanto en el buque como en la obra de amarre. La obra de amarre compatible con esta disposición del sistema de amarre deberá estar dotada de los mecanismos adecuados para permitir la orientación libre del buque, alineándose con la dirección que da lugar a la menor resultante de las cargas actuantes sobre el mismo.

Esta disposición del sistema de amarre tiene validez tanto para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque Tipo I ó II como III.

considerando una única línea de amarre o excepcionalmente dos o más líneas de amarre dependiendo de la composición de la flota esperable en el atraque y tomando en consideración la capacidad de resistir las cargas actuantes y simultáneamente la facilidad de manipulación de las amarras. Los dispositivos de sujeción de la amarras a la obra de atraque deberán estar preparados para el número máximo de amarras considerado.

La disposición estándar del sistema de amarre asociada con estas configuraciones de atraque se recoge en la tabla 4.6.4.55.

Tabla 4.6.4.55. Disposición estándar del sistema de amarre para buques y embarcaciones amarrados por proa a un amarradero de orientación libre



Para buques y embarcaciones amarrados por proa a una monoboya o monodique de alba de orientación libre, la disposición óptima del sistema de amarre es la siguiente, con validez tanto para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque Tipos I ó II como Tipo III:

- El sistema de amarre estará formado por una única alineación, constituida por una o varias líneas de amarre paralelas en función de las características de las amarras disponibles en el amarradero. El ángulo vertical que formen estas líneas en carga con la horizontal no superará 25° en todos los estados climáticos y de situación de carga del buque en los que éste pueda permanecer en el atraque.
- Las características y emplazamiento del punto de amarre deberá permitir el amarre de toda la flota de buques esperable en el atraque en el espacio disponible cumpliendo los requerimientos definidos en esta tabla. En el caso de obras de amarre flotantes (monoboyas), para definir las características y emplazamiento del punto de amarre compatibles con estos requerimientos se deberá tomar en consideración el desplazamiento de dichos puntos desde sus posiciones de fondeo en cada uno de los estados climáticos y de situación de carga del buque considerados para la permanencia en el atraque. La cuantificación de estos desplazamientos en función del sistema de fondeo adoptado se recoge en la tabla 4.6.4.56.

Con esta disposición del sistema de amarre y con los tipos y longitudes de líneas de amarre recomendados en este apartado (ver subapartado a. criterios generales), los periodos naturales de oscilación del buque amarrado que se presentan son del siguiente orden de magnitud:

- Los correspondientes a los movimientos horizontales de vaivén, deriva y guiñada suelen estar en el rango entre 2 y 10 s para embarcaciones y buques hasta 10.000 t de desplazamiento y entre 15 s y varios minutos para buques de mayor desplazamiento.
- Los correspondientes a los movimientos verticales no están influidos por esta disposición del sistema de amarre, siendo los correspondientes al buque o embarcación en flotación libre (Ver tablas 4.6.4.50 para buques con $L \geq 25$ m y 4.6.4.53 para embarcaciones con $L < 25$ m).

Disposición estándar del sistema de amarre para buques y embarcaciones amarrados por proa a un amarradero de orientación libre (continuación)

Los periodos son función del tipo y desplazamiento del buque o embarcación, así como de las características de la obra de amarre y particularmente, en el caso de las obras de amarre flotantes, de su sistema de fondeo [múltiples líneas de fondeo en catenaria (CALM en nomenclatura inglesa), línea de fondeo única tensionada (SALM en nomenclatura inglesa), ...], así como de la profundidad. Para cada uno de los rangos incluidos en esta tabla, los periodos más bajos suelen estar asociados a las embarcaciones y buques de menor desplazamiento, así como a las obras de amarre fijas o a las flotantes con sistemas de fondeo más rígidos (SALM más rígido que CALM) o fondeadas a profundidades menores.

d) Disposición estándar de sistemas de amarre para buque amarrado a un campo de boyas (amarradero con orientación fija) ⁽¹⁰⁸⁾

Para buques amarrados a un campo de boyas la disposición básica del sistema de amarre estará formada por entre dos y siete líneas de amarre y/o de fondeo saliendo del buque simultáneamente tanto por proa como por popa o en sus proximidades, dispuestas prácticamente simétricamente respecto al eje longitudinal del buque o embarcación y amarradas, en su caso, a boyas, conectadas o no entre sí, o a otros elementos fijos o flotantes. Algunas de las disposiciones básicas más habituales correspondientes a este sistema de amarre son:

- ◆ Amarre a dos boyas, una en proa y otra en popa
- ◆ Amarre a un punto de amarre por proa y dos por popa
- ◆ Fondeo con dos anclas por proa y amarre a dos puntos de amarre por popa.
- ◆ Amarre a dos puntos de amarre por proa y a dos por popa.
- ◆ Fondeo con dos anclas por proa y amarre a tres puntos de amarre por popa
- ◆ Sistemas múltiples constituidos por amarres y/o fondeos en proa y popa, con amarres laterales adicionales en las proximidades de proa y/o popa.

Más detalles sobre estas disposiciones se incluyen en el apartado 8.8 de la ROM 3.1-99.

Estas disposiciones del sistema de amarre tienen fundamentalmente validez para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque Tipo I ó II, así como con los agentes climáticos reinantes actuando básicamente en un único sector direccional, salvo para embarcaciones con $L < 25$ m. En general, no se considerará que buques con eslora $L \geq 25$ puedan estar amarrados a campos de boyas para condiciones climáticas de permanencia del buque en el atraque Tipo III.

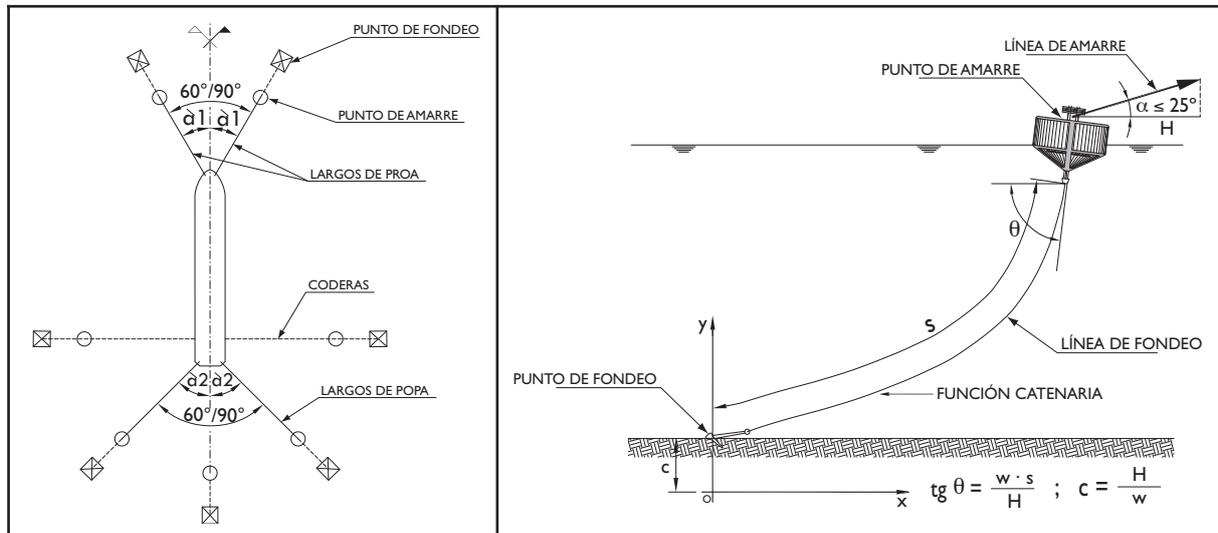
Las disposiciones estándar del sistema de amarre asociadas con estas configuraciones de atraque para los distintos tamaños de buques se recogen en las tablas 4.6.4.56 y 4.6.4.57.

4.6.4.4.7.1.2. Métodos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados

El método estadístico a partir de sistemas de amarre monitorizados está basado en la disponibilidad de registros fiables, completos y suficientes de las cargas de amarre desarrolladas en obras de atraque y amarre preexistentes por los diferentes tipos y características de buques que permanecen amarrados en la instalación por medio de un sistema de amarre y defensa de configuración y características determinadas, en las distintas condiciones climáticas y de situación de carga del buque en las que se considera la permanencia del mismo en el atraque.

(108) A los efectos de este subapartado se consideran campos de boyas a las instalaciones en las cuales los buques permanecen amarrados por proa y popa simultáneamente y en sus proximidades a boyas u otros elementos fijos o flotantes, con la utilización o no de las propias anclas de proa, mediante disposiciones de líneas de amarre o de fondeo simétricas respecto al eje longitudinal del buque. En base a esta definición, se considerarán incluidos en este subapartado los amarres de punta de embarcaciones y buques.

Tabla 4.6.4.56. Disposición estándar del sistema de amarre para buques amarrados a un campo de boyas (para buques con $L \geq 25$ m)



Para buques con eslora $L \geq 25$ m, amarrados a un amarradero con orientación fija, la disposición óptima del sistema de amarre es la siguiente:

- El sistema de amarre estará constituido por el número mínimo posible de líneas de amarre y/o fondeo en función del desplazamiento y tamaño del buque, de forma que permitan compatibilizar las características de las amarras disponibles en el buque con su capacidad de resistir la carga actuante asociada a cada disposición y con la facilidad de manejo y tensionado de las mismas. El número mínimo de líneas de amarre y/o fondeo para este tipo de buques no será menor de cuatro, dos a proa y dos a popa. Estas líneas se dispondrán simétricamente respecto al eje longitudinal del buque.
- Líneas de amarre o fondeo de proa (largos de proa): se dispondrán formando un ángulo en planta entre 60 y 90° sin cruzarse entre sí.
 - Las líneas de fondeo de proa deberán tener la longitud suficiente para, en cualquiera de los estados climáticos y situación de carga del buque considerados para la permanencia del buque en el atraque, la cadena en catenaria no transmita esfuerzos de tracción verticales al ancla; es decir, que el ángulo de la línea de fondeo con el fondo a la altura del arganeo del ancla sea prácticamente 0°. En caso contrario, el ancla podría perder gran parte de su poder de agarre y garrear. A su vez, esta longitud en cualquiera de dichos estados climáticos no será mayor que la mínima correspondiente a una carga igual a $\frac{1}{4}$ de la carga última de la misma para evitar su rotura por peso propio. Como primera aproximación, podemos considerar que se cumple el primer requisito con longitudes mínimas de cadena a filar del orden de 3 a 5 veces el calado para el mayor nivel de agua compatible con los estados climáticos considerados para la permanencia del buque en el atraque (incluyendo oleaje), en función del desplazamiento y tamaño del buque y de que las condiciones de permanencia del buque en el atraque sean Tipo I ó II. Cálculos más exactos de las longitudes mínimas y máximas de las líneas de fondeo pueden realizarse con la formulación incluida en el apartado 8.7.3.e. de la ROM 3.1-99.
 - Las líneas de amarre de proa deberán tener una longitud entre el buque y el punto de amarre que permita que el ángulo vertical entre la línea de amarre en carga y la horizontal, en cualquiera de los estados climáticos y situación de carga del buque considerados para la permanencia del buque en el atraque, no supere 25°. Para verificar este requerimiento deberá tomarse en consideración, en el caso de que sean obras de amarre flotantes, el desplazamiento de los puntos de amarre en carga desde sus posiciones de fondeo en dichos estados.
- Líneas de amarre o fondeo de popa (largos de popa): las líneas de amarre o fondeo más exteriores se dispondrán formando un ángulo en planta entre 60 y 90° sin cruzarse entre sí, excepto en los casos de amarre de punta en se utilicen puntos de amarre situados en muelles, pantalanos o duques de alba y el espaciamiento entre los mismos no permita alcanzar dicho ángulo sin cruzarse.
- En su caso, la tercera línea de amarre se situará en el eje longitudinal del buque.
 - Las longitudes de las líneas de amarre o fondeo de popa, así como los ángulos verticales de las mismas con la horizontal, deberán cumplir los mismos requisitos que los definidos para las líneas de proa.
- Líneas de amarre o fondeo de costado (coderas): se situarán lo más a proa y/o a popa posible y, en cualquier caso, a una distancia de éstas no superior a $\frac{1}{4}$ de la eslora. Se dispondrán sensiblemente perpendiculares al eje longitudinal del buque, pero considerándose admisibles disposiciones con tolerancias de $\pm 5^\circ$ respecto a la perpendicular.
 - Las longitudes de las líneas de amarre o fondeo de costado, así como los ángulos verticales de las mismas con la horizontal, deberán cumplir los mismos requisitos que los definidos para las líneas de proa y de popa.
- Líneas de amarre de seguridad: en algunos amarraderos de orientación fija para buques de gran desplazamiento se disponen líneas de amarre adicionales en cada punto de amarre, generalmente de acero, permanentemente almacenadas en el amarradero. En general estas líneas no se consideran como líneas de amarre principales ya que no se pretensionan y, por tanto, no se considera que contribuyan al amarre del buque, siendo únicamente elementos de seguridad en caso de fallo de alguna línea de amarre.
- Deberá disponerse un número suficiente de puntos de amarre situados de forma que permita el amarre de todos los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque con la disposición tipo de amarras adoptada para el amarradero de orientación fija, cumpliendo los requerimientos definidos en esta tabla. Para definir las características y emplazamiento de los puntos de amarre compatibles con estos requerimientos, así como, en el caso de las obras de amarre flotantes, adicionalmente el posicionamiento del sistema de fondeo, se tendrá en cuenta el espacio disponible, así como los siguientes aspectos:

Disposición estándar del sistema de amarre para buques amarrados a un campo de boyas (para buques con $L \geq 25$ m) (continuación)

- Los puntos de amarre en el caso de las obras fijas, así como los puntos de fondeo en las obras flotantes, se posicionarán simétricamente respecto al eje longitudinal del buque. En la medida en que la morfología del fondo marino lo permita, los puntos de amarre simétricos serán de iguales características y dimensiones con el objeto de conseguir la máxima simetría de cargas sobre el buque en la dirección en la que actúan las acciones más desfavorables.
- Cuando para el punto de amarre se adopten boyas fondeadas mediante cadena en catenaria, la longitud máxima de la línea de fondeo de la boya de amarre deberá cumplir los requisitos equivalentes a los señalados para las líneas de fondeo de los buques. Así mismo, en estos casos la longitud mínima dependerá del tipo de anclaje de dicha línea (con ancla, con muerto, o con pilotes u otros elementos capaces de resistir tracciones verticales).
 - Cuando el anclaje se realice mediante cadena en catenaria y ancla, para establecer la longitud mínima deberá compatibilizarse este parámetro con el ángulo vertical de la línea de amarre, la carga última de la misma y el peso por unidad de longitud de la línea de fondeo de la boya de amarre para que no se produzcan tracciones verticales en el ancla (ángulo de la línea de fondeo con el fondo a la altura del arganeo del ancla prácticamente igual a 0°) ni pérdida de la situación de flotación de la boya. En este sentido, para una determinada carga de amarre, a mayores ángulos verticales de la misma (próximos a 25°) son necesarios mayores pesos mínimos de la línea de fondeo pero pueden alcanzarse con menores longitudes de la misma sin producir tracciones en el ancla, lo que lleva a utilizar cadenas de mayor peso unitario por unidad de longitud y, por tanto, a mayores requerimientos de boyancia para la boya. Por el contrario, a menores ángulos verticales son necesarios menores pesos mínimos para la línea de fondeo los cuales pueden alcanzarse tanto con mayores longitudes aunque con menores pesos unitarios para la misma o viceversa. En este sentido, para resistir una misma componente horizontal, para pesos unitarios de cadena menores se necesita una mayor longitud de cadena para cumplir los requerimientos de tracción vertical nula en el ancla. A los efectos de alcanzar un equilibrio óptimo de estos parámetros en función de las características locales y, en su caso, de las limitaciones de espacio existentes en el emplazamiento, fijada la carga última de la línea de amarre se recomienda tantear las consecuencias que para la longitud de la línea de fondeo, los pesos unitarios de la cadena y las necesidades de boyancia de la boya tiene la adopción de ángulos verticales de la línea de amarre diferentes. Dichos tanteos se realizarán por medio de la aplicación de las ecuaciones de la función catenaria considerando que el origen de la misma está en el ancla situada en el fondo marino ⁽¹⁰⁹⁾. En cualquier caso, como a mayor ángulo vertical de la línea de amarre menor longitud necesaria de cadena de anclaje para que se eviten tracciones verticales en el ancla, cuando el espacio disponible sea muy limitado se recomienda disponer las líneas de amarre con ángulos lo más próximo posible a 25° . Como regla general práctica, sin perjuicio de tener que realizar las correspondientes comprobaciones y particularmente que se cumple el peso de la línea de fondeo para que no se produzca la pérdida de flotación de la boya, para que no se produzcan tracciones verticales en el ancla serían necesarias longitudes mínimas de línea de fondeo del orden de 7 veces el calado para el mayor nivel del agua compatible con los estados climáticos considerados para la permanencia del buque en el atraque (incluido oleaje).
 - Cuando el anclaje se realice mediante cadena en catenaria anclada a un muerto, pilote u otro elemento capaz de resistir tracciones verticales, la longitud mínima de la línea de fondeo podrá ser menor que la señalada para anclaje mediante ancla, en función de la capacidad resistente del anclaje a cargas verticales. El cálculo de esta longitud, así como el peso mínimo de muerto necesario asociado a la misma para un determinado peso de cadena por unidad de longitud, se obtendrá por medio de la aplicación de las ecuaciones de la función catenaria, considerando que el origen de dicha función no está en el muerto sino a una distancia del mismo por debajo del fondo (ver nota 20).
- Cuando para el punto de amarre se adopten boyas fondeadas mediante otros sistemas de fondeo [cadenas en disposición multicatenaria (p.e. mediante colocación de un muerto intermedio) o líneas de fondeo en tensión], el desplazamiento de la boya en carga podrá ajustarse a las necesidades del espacio disponible en el emplazamiento en función del tipo y características del sistema de fondeo adoptado.

Con esta disposición del sistema de amarre y con los tipos y longitudes de las líneas de amarre recomendados en este apartado (ver subapartado a. criterios generales) los periodos naturales de oscilación del conjunto buque/sistema de amarre son del siguiente orden de magnitud:

- Los correspondientes a movimientos horizontales de los buques amarrados (deriva, vaivén y guiñada) suelen estar en el rango entre 15 y 120 s, dependiendo del tipo y desplazamiento del buque, de las características del sistema de amarre y, en el caso de puntos de amarre flotantes, de su sistema de fondeo, así como de la tensión de las líneas de amarre. Los periodos más bajos están asociados a los buques con menor desplazamiento, a sistemas de amarre y, en su caso, de fondeo más rígidos, a menores profundidades de fondeo y a líneas de amarre más tensionadas. En este sentido, por ejemplo los amarraderos con un mayor número de líneas de amarre son más rígidos respecto a los que tienen menos y los puntos de amarre flotantes con sistemas de fondeo que utilizan anclajes con catenaria son menos rígidos que los que utilizan líneas de fondeo en tensión.
- Los correspondientes a movimientos verticales de los buques amarrados (altea, balance y cabeceo) suelen estar en el rango entre 8 y 20 s, dependiendo del tipo y desplazamiento del buque pero no de la disposición del sistema de amarre. Los periodos más bajos están asociados con los buques de menor desplazamiento.

(109) Ecuaciones de la función catenaria (Ver figura tabla 4.6.4.56):

En cualquier punto (x, y) de la función se cumple:

$$V = w \cdot s = T \cdot \sin \theta \quad ; \quad H = w \cdot c = T \cdot \cos \theta = cte \quad ; \quad T = w \cdot y \quad ; \quad y = c \cdot \cosh(x/c) \quad ; \quad s = c \cdot \sinh(x/c)$$

Siendo:

Origen de coordenadas: definido a partir de considerar que la intersección de la función catenaria con el eje de ordenadas se produce cuando $\theta = 0^\circ$ en el punto $(0, c)$, siendo $c = H/w$.

T : Tensión en la cadena en el punto $(x, y) = cte$.

V : Componente vertical de la tensión (T) en el punto (x, y) .

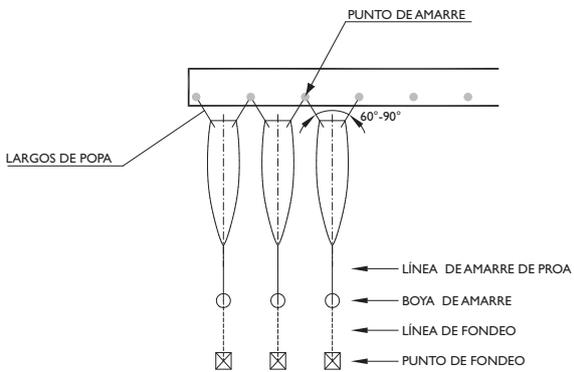
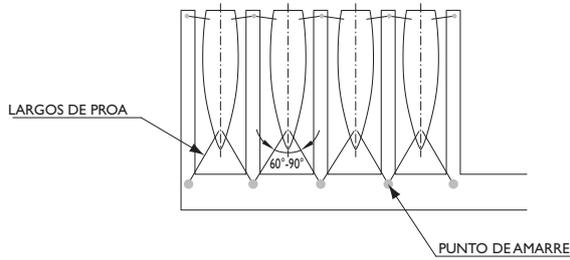
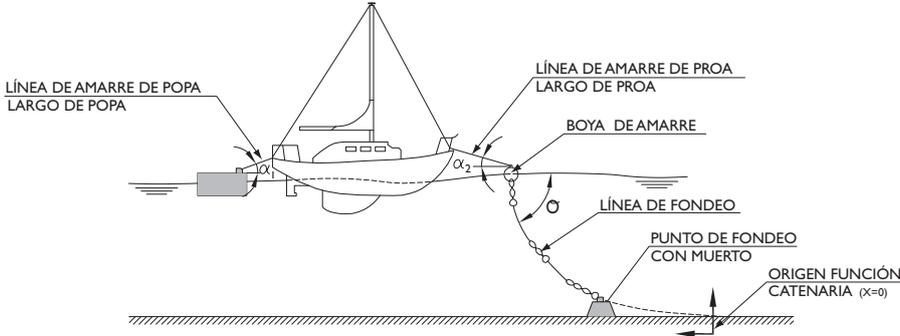
H : Componente horizontal de la tensión (T) en el punto (x, y) .

θ : ángulo vertical de la función catenaria con la horizontal en el punto (x, y) .

w : peso sumergido de la cadena por unidad de longitud.

s : longitud de la catenaria entre el punto $(0, c)$ y el punto (x, y) .

Tabla 4.6.4.57. Disposición estándar del sistema de amarre para embarcaciones amarradas de punta a un campo de boyas y/o pantalán (para buques con $L < 25$ m)

 <p>PUNTO DE AMARRE</p> <p>LARGOS DE POPA</p> <p>60°-90°</p> <p>LÍNEA DE AMARRE DE PROA</p> <p>BOYA DE AMARRE</p> <p>LÍNEA DE FONDEO</p> <p>PUNTO DE FONDEO</p>	 <p>LARGOS DE PROA</p> <p>60°-90°</p> <p>PUNTO DE AMARRE</p>
 <p>LÍNEA DE AMARRE DE POPA LARGO DE POPA</p> <p>LÍNEA DE AMARRE DE PROA LARGO DE PROA</p> <p>BOYA DE AMARRE</p> <p>LÍNEA DE FONDEO</p> <p>PUNTO DE FONDEO CON MUERTO</p> <p>ORIGEN FUNCIÓN CATENARIA ($x=0$)</p> <p>α_1 y $\alpha_2 \leq 25^\circ$ - CONDICIONES CLIMÁTICAS DE PERMANENCIA DE LA EMBARCACIÓN EN EL ATRAQUE TIPOS I Y II</p> <p>α_1 y $\alpha_2 \leq 10^\circ$ - CONDICIONES CLIMÁTICAS DE PERMANENCIA DE LA EMBARCACIÓN EN EL ATRAQUE TIPO III</p>	
<p>Para embarcaciones con eslora $L < 25$ m, amarradas de punta a un amarradero de orientación fija y/o a pantalanes (fingers), la disposición óptima del sistema de amarre es la siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> – El sistema de amarre estará constituido por el número mínimo posible de líneas de amarre y/o fondeo en función de las condiciones climáticas consideradas como límite para la permanencia de la embarcación en el atraque con dicha disposición y de la compatibilidad de las amarras disponibles en este tipo de embarcaciones con su capacidad para resistir las cargas resultantes asociadas a cada disposición. Estas líneas se dispondrán simétricamente respecto al eje longitudinal de la embarcación. En cualquier caso, el número mínimo de líneas no será menor de tres, una a proa y dos a popa para condiciones climáticas de permanencia de la embarcación en el atraque Tipo I ó II y de cuatro, dos a proa y dos a popa, para condiciones climáticas Tipo III. Para estas líneas serán de aplicación las limitaciones en planta y alzado establecidas para cada una de ellas en el caso de buques con eslora $L \geq 25$ m (Ver tabla 4.6.4.56). No obstante, para condiciones climáticas límite de permanencia de la embarcación en el atraque Tipo III se recomienda que el ángulo vertical de las líneas de amarre con la horizontal no supere 10°, así como duplicar cada una de las líneas de amarre con el objeto de reducir las deformaciones de las amarras ante cargas mayores y consiguientemente los movimientos horizontales de la embarcación en situación de tormenta. – Deberá disponerse un número suficiente de puntos de amarre situados de forma que permita el amarre de todas las embarcaciones pertenecientes a la flota esperable en el atraque con la disposición tipo de amarras adoptada en el espacio disponible, cumpliendo los requerimientos definidos en esta tabla. Los puntos de amarre pueden estar situados tanto en muelles y pantalanes como en boyas (Ver figuras de esta tabla). Para definir las características y el emplazamiento de los puntos de amarre compatibles con estos requerimientos, en el caso de los puntos de amarre situados en obras flotantes se deberá tomar en consideración el desplazamiento de dichos puntos desde sus posiciones de fondeo en cada uno de los estados climáticos considerados para la permanencia en el atraque. La cuantificación de estos desplazamientos en función del sistema de fondeo se recoge en la tabla 4.6.4.56. <p>Con esta disposición óptima del sistema de amarre y con los tipos y longitudes de línea de amarre recomendados en este apartado (ver subapartado a. criterios generales), los periodos naturales de oscilación del conjunto embarcación/sistema de amarre que se presentan son del siguiente orden de magnitud:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Los correspondientes tanto a movimientos horizontales como verticales de las embarcaciones amarradas suelen estar en el rango entre 2 y 10 s, dependiendo del desplazamiento de la embarcación, de las características del sistema de amarre y, en el caso de puntos de amarre flotantes, de la rigidez de su sistema de fondeo. Los periodos más bajos están asociados a las embarcaciones de menor desplazamiento y a sistemas de amarre y, en su caso, de fondeo más rígidos. 	

En la actualidad hay disponible tecnología suficiente para la realización de este tipo de registros y su almacenamiento, y su implantación es cada vez más frecuente como parte de sistemas completos de gestión de la seguridad del atraque y amarre y de las operaciones de carga y descarga, especialmente en terminales de productos petrolíferos, de gases licuados y de otras mercancías peligrosas. Estos sistemas en general registran tanto las cargas en las líneas de amarre, como las compresiones en las defensas y los movimientos de los buques, utilizando sistemas convertidores de cargas en señales eléctricas situados en los puntos de amarre para el registro de cargas de amarre y medidores de distancia láser o cámaras digitales situados en la obra de atraque para el registro de compresiones en las defensas y de los movimientos de los buques. Es decir, el objetivo principal de estos sistemas es detectar y evitar en tiempo real sobretensiones en las líneas de amarre superiores a las previstas, compresiones excesivas en las defensas o movimientos elevados del buque que podrían dar lugar a la rotura de los elementos o equipos de amarre y defensa e, incluso, producir daños estructurales en el buque y en las infraestructuras de atraque, con consecuencias tanto para la seguridad del buque y de la navegación como para la seguridad de la vida humana y ambiental, así como reaccionar a tiempo utilizando medios adicionales (p.e. empleando remolcadores, duplicando amarras, ...) o medidas operativas correctoras (p.e. largando más longitud de amarras) que reduzcan riesgos y eviten dichas consecuencias. Así mismo, estos sistemas permiten controlar la secuencia de pretensado inicial de amarras para garantizar que las cargas sobre el buque se mantengan equilibradas y actuar frente a destensamientos posteriores de las líneas de amarre o a la existencia de tensiones inferiores a los niveles de pretensión de las mismas que podrían dar lugar a redistribuciones de cargas no previstas entre dichas líneas o en las defensas, así como aumentar los movimientos del buque, con consecuencias para la seguridad del mismo, de la operativa y de los equipos de manipulación de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros. El registro para el posterior análisis de las cargas de amarre es una utilidad añadida de los sistemas de amarre monitorizados, dirigidos más a la operación de la instalación de atraque que a su diseño previo.

Estos sistemas de gestión del atraque y amarre, si se complementan con registros simultáneos procedentes de equipos de medición de los agentes del medio físico, posibilitan un mayor nivel de segregación de la información registrada de gran utilidad para el análisis estadístico de las cargas de amarre en líneas de amarre y defensas y de los movimientos asociados a cada buque amarrado en cada estado meteorológico y de situación de carga del mismo, así como para la comprobación de la compatibilidad de dichos movimientos con los límites de operatividad establecidos tanto para la permanencia del buque en el atraque como para las operaciones de carga y descarga. También permitirían valorar la efectividad de los sistemas de amarre adoptados en dichos estados para mantener los movimientos horizontales del buque en los límites admisibles.

Este método integra automáticamente todos los factores que inciden en la valoración de las cargas de amarre, al ser el resultado del comportamiento real del conjunto buque/sistema de amarre/sistema de atraque en cada una de las condiciones climáticas, operacionales y de situación de carga en las que el buque puede permanecer en el atraque.

Mediante este método, en función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las cargas de amarre en cada punto de amarre se definirán:

a) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilista

Para formulaciones deterministas y deterministas-probabilistas se definirán los valores representativos de las cargas de amarre en los diferentes ciclos de sollicitación en los que se considere la actuación de esta acción (condiciones de trabajo operativas correspondientes a la permanencia del buque en el atraque, condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga de mercancías o embarque y desembarque de pasajeros, ...), adoptando bien las cargas máximas en cada una de las líneas de amarre bien las cargas máximas en las defensas como variables del agente cargas de amarre, en función de cuál de dichas acciones sea la más desfavorable para el modo de fallo analizado. En el caso de que la obra de atraque y amarre no incorpore sistemas de defensas (p.e. amarraderos de orientación libre o amarraderos de orientación fija), únicamente la carga máxima en las líneas de amarre será la variable que define a este agente.

a₁) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos

- ◆ *En condiciones de operación correspondiente al estado límite de permanencia del buque en el atraque con una determinada configuración y características del sistema de amarre.* Para cada tipo de buque que ha permanecido amarrado en la instalación de atraque con una determinada configuración y características del sistema de amarre y situación de carga del mismo, los valores representativos de las cargas de amarre en esta condición de trabajo se definirán por medio de las funciones de densidad conjunta de las variables de estado carga máxima en cada una de las líneas de amarre, así como, en el caso de que el sistema de amarre incorpore defensas, por medio de las funciones de densidad conjunta de las variables de estado carga máxima en cada una de las defensas, obtenidas a partir de los registros disponibles correspondientes a cada buque y situación de carga en los estados meteorológicos y operativos límite asociados a dicha condición de trabajo ⁽¹¹⁰⁾. La consideración de una u otra variable dependerá de cual es más desfavorable para el modo de fallo analizado.

Se adoptarán como valores representativos de las cargas de amarre en un elemento del sistema de amarre en esta condición de trabajo:

- El valor correspondiente al 95% de probabilidad de no excedencia en la función de distribución marginal de la variable carga de amarre máxima en el elemento del sistema de amarre considerado, en la condición climática límite asociada a esta condición de trabajo.

Cuando la flota de buques esperada en el atraque esté formada por buques de tipos y características y situaciones de carga diferentes deberán definirse los valores representativos de las cargas de amarre correspondientes a todos y cada uno de ellos debido a que no es posible discriminar a priori el tipo de buque y situación de carga del mismo que da lugar a los valores mayores. Simplificadamente, para la definición de las funciones de densidad podrán considerarse únicamente las situaciones extremas de máxima y mínima situación de carga con la que se presenta cada tipo de buque en la instalación de atraque.

Para definir el estado límite correspondiente a esta condición de trabajo, se considerará que el agente carga de amarre es el agente predominante, adoptándose como valores característicos de las cargas de amarre los más desfavorables para el modo de fallo analizado de entre los valores representativos asociados a cada tipo de buque y situación de carga. En general, el buque y situación de carga que produce las cargas de amarre más desfavorables dependerá de las características de los agentes climáticos y operacionales que actúan simultáneamente en el emplazamiento en la condición de trabajo considerada, del agente meteorológico predominante, del valor de las superficies sumergidas y emergidas del buque expuestas a los mismos en cada situación, así como de la relación existente entre las mismas. El estado meteorológico asociado al valor característico a la carga de amarre en el elemento del sistema de amarre y para el modo de fallo considerado, definido por las direcciones y sentidos de actuación, así como por los valores de los agentes atmosféricos y climáticos marinos actuantes que dan lugar al mismo, se considerará como estado meteorológico representativo de las condiciones de operación correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque, utilizándose a los efectos de la obtención de los valores compatibles de otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en dicho estado que dependan de los agentes meteorológicos.

En el caso de que un punto de amarre pueda recibir cargas de amarre de atraques contiguos en función de las disposiciones de amarre establecidas por criterios de explotación, cuando su

(110) Con el objeto de poder disponer del mayor número posible de registros para la definición de las funciones de densidad conjunta correspondientes a las condiciones de trabajo límite de permanencia del buque en el atraque de forma fiable, a estos efectos se considerarán todos los registros disponibles correspondientes a los estados meteorológicos y operativos en los que se alcance por lo menos el 85% de alguno de los valores umbrales de las variables de los agentes actuantes sobre el buque amarrado que definen la condición límite para la permanencia del buque en el atraque.

actuación sea desfavorable para el modo de fallo analizado se adoptarán simplificadaamente como valores de compatibilidad de las cargas de amarre transmitidas por el atraque contiguo sus valores característicos obtenidos por los mismos criterios.

- ◆ *En condiciones de operación correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque con buque atracado.* Para cada tipo de buque que ha permanecido amarrado en la instalación de atraque con una determinada configuración y características del sistema de amarre y situación de carga del mismo, los valores representativos de las cargas de amarre en esta condición de trabajo se definirán de forma equivalente a la establecida para condiciones de operación correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque a partir de los registros disponibles correspondientes a dicho buque y situación de carga en los estados meteorológicos u operativos compatibles con el definido como representativo de las condiciones de operación correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque, adoptado para dicho buque y modo de fallo a los efectos de determinación de las cargas de manipulación ⁽¹¹¹⁾.

Para definir el valor de compatibilidad de las cargas de amarre en el estado límite correspondiente a esta condición de trabajo, se adoptarán como valores de combinación de las cargas de amarre los más desfavorables para el modo de fallo analizado de entre los valores representativos asociados a cada tipo de buque y situación de carga obtenidos para dicha condición de trabajo.

De igual forma, en el caso de que un punto de amarre pueda recibir cargas de amarre de atraques contiguos en función de las disposiciones de amarre establecidas por criterios de explotación, en el caso de que su actuación sea desfavorable para el modo de fallo analizado se adoptarán simplificadaamente como valores de compatibilidad de las cargas de amarre transmitidas por el atraque contiguo sus valores de combinación obtenidos por los mismos criterios.

- ◆ *En condiciones de operación correspondientes al estado límite de operaciones de atraque.* Esta condición de trabajo únicamente se tomará en consideración en aquellos casos en los que el elemento del sistema de amarre considerado o la estructura de atraque pueda recibir las cargas de amarre de atraques contiguos y/o los criterios de explotación de la instalación establecidos por el Promotor consideren específicamente la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante las maniobras de atraque y la actuación de dichas cargas sea desfavorable para el modo de fallo analizado.

Para las cargas de amarre procedentes de atraques contiguos, los valores de compatibilidad de las cargas de amarre en esta condición de trabajo se definirán de forma equivalente a lo establecido para estos casos en condiciones de operación correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque, pero considerando los registros correspondientes a los estados meteorológicos y operativos límite asociados a las maniobras de atraque en la instalación considerada ⁽¹¹²⁾.

(111) Con el objeto de disponer del mayor número posible de registros para la definición de las funciones de densidad conjunta correspondientes a las condiciones de trabajo límite de realización de las operaciones de carga y descarga o de embarque y desembarque de forma fiable, a estos efectos se considerarán todos los registros disponibles correspondientes a los estados meteorológicos y operativos en los que se alcance por lo menos el 85% de alguno de los valores umbrales de las variables de los agentes actuantes sobre el buque amarrado que definen la condición límite para la realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros con buque atracado.

(112) Con el objeto de disponer del mayor número posible de registros para la definición de las funciones de densidad correspondientes a las condiciones de trabajo límite de operaciones de atraque de forma fiable, a estos efectos se considerarán todos los registros disponibles correspondientes a los estados meteorológicos y operativos en los que se alcance por lo menos el 85% de alguno de los valores umbrales de las variables de los agentes actuantes sobre el buque amarrado que definen la condición límite para la realización de las maniobras de atraque, siempre que no superen esa condición.

Para las cargas de amarre debidas a la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante la maniobra de atraque, los valores representativos de las cargas de amarre correspondientes a estas líneas en esta condición de trabajo se definirán para cada tipo y característica de buque que atraca utilizando estos elementos auxiliares, a partir de los registros disponibles correspondientes a las condiciones climáticas límite asociadas a las operaciones de atraque (Ver Nota 23), de forma equivalente a la establecida para condiciones de operación correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque. Los valores de compatibilidad de estas cargas a tomar en consideración en el estado límite correspondiente a la condición de trabajo de operaciones de atraque serán los valores representativos correspondientes al buque al que está asociado el valor característico de la energía cedida al sistema de atraque durante la maniobra de atraque (ver apartado 4.6.4.4.3).

- ◆ *En condiciones extremas y excepcionales.* En aquellos casos en los que la presentación de un agente climático no sea causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque, en general no será posible mediante métodos estadísticos la definición suficientemente precisa de los valores de compatibilidad de las cargas de amarre a tomar en consideración en condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de un agente climático de carácter extraordinario (ver apartado 4.1.1.1.1) al no estar normalmente disponibles o estar disponibles en un número insuficiente de años registros correspondientes a los estados meteorológicos que definen estas condiciones extremas o excepcionales de proyecto (condiciones de temporal).

No obstante lo anterior, en el caso de que existan suficientes registros disponibles de las cargas de amarre simultáneamente con registros de los agentes climáticos en condiciones de temporal, para cada tipo de buque y situación de carga, los valores representativos de las cargas de amarre en estas condiciones podrán obtenerse a partir de la definición de las funciones de distribución de las cargas de amarre condicionadas a los valores representativos en condiciones extremas o excepcionales adoptados para la variable climática que define el estado extremal o excepcional considerado. El valor de compatibilidad de la carga de amarre en estas condiciones de trabajo será el más desfavorable para el modo de fallo analizado entre los valores asociados al cuantil del 85% de las funciones de distribución condicionadas al valor representativo adoptado para la variable climática, correspondientes a cada uno de los tipos de buque y situación de carga de los mismos.

Para condiciones excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental, así como para condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica, se adoptarán como valores de compatibilidad de la variable de las cargas de amarre, cuando su actuación sea desfavorable para el modo de fallo analizado, los valores frecuentes o cuasi-permanentes en función del estado límite de proyecto considerado y el modo de fallo analizado (Ver apartado 4.1.1.1.1). Los valores frecuentes o cuasi-permanentes de la variable principal serán los correspondientes al cuantil del 85% y del 50%, respectivamente, de la función de distribución media marginal de dicha variable; es decir, de la función obtenida a partir de todos los registros disponibles, sin segregación por tipo de buque, situación de carga o condición climática.

a₂) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límites de servicio

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación en cada condición de trabajo sea la combinación poco probable o fundamental será de aplicación lo dispuesto en el subapartado a₁) de este apartado para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos. Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicables sea la combinación frecuente o cuasi-permanente (ver apartado 4.1.1.2) se adoptarán como valores representativos de las cargas de amarre los valores frecuentes y cuasi-permanentes definidos en el subapartado anterior.

a₃) Para la verificación de modos de parada operativa

No es posible mediante métodos estadísticos basados en el registro de las cargas de amarre la verificación directa del modo de parada operativa correspondiente a la suspensión de la permanencia del buque en el atraque, aunque se complementen o asocien con registros simultáneos de los agentes del medio físico. No obstante, cuando se disponga de estos últimos registros, el proyectista podría conocer los valores umbrales de las variables de los agentes climáticos que actuando simultáneamente limitan realmente la permanencia de cada buque, en cada situación de carga, en la instalación de atraque considerada, con una determinada configuración y características del sistema de amarre. En el caso de que se dispusiera de estos registros para cada una de las causas de suspensión de la permanencia del buque en el atraque, una vez conocidos de esta forma los valores umbral de los agentes climáticos asociados a cada una de dichas causas, para la verificación de este modo de parada operativa podrá procederse de igual forma que lo establecido a estos efectos en esta Recomendación para los otros métodos de determinación de las cargas de amarre (Ver apartados 4.6.4.4.7.1.3. y 4.6.4.4.7.1.4).

Los valores representativos de las cargas de amarre, utilizando para su determinación métodos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados, ser resumen en la tabla 4.6.4.58.

Tabla 4.6.4.58. Valores representativos de las cargas de amarre, utilizando para su determinación métodos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO Y VALOR DE COMBINACIÓN
Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes a permanencia del buque en el atraque (CT1,3)	El más desfavorable para el modo de fallo analizado de entre los valores representativos asociados a cada tipo de buque y situación de carga que compone la flota esperable en el atraque, siendo el valor representativo correspondiente a cada tipo de buque el asociado al cuantil del 95% en la función de distribución marginal de la variable de la carga de amarre considerada, en la condición climática y operativa límite asociada a esta condición de trabajo.
CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR DE COMBINACIÓN
Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes a la realización de las Normales operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque con buque atracado (CT1,1)	El más desfavorable para el modo de fallo analizado de entre los valores representativos asociados a cada tipo de buque y situación de carga que compone la flota esperable en el atraque, siendo el valor representativo correspondiente a cada tipo de buque el asociado al cuantil del 95% en la función de distribución marginal de la variable de la carga de amarre considerada, en la condición climática y operativa límite asociada a esta condición de trabajo.
Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes a las operaciones de atraque (CT1,2)	<ul style="list-style-type: none"> – Para cargas de amarre procedentes de líneas de amarre de atraques continuos (cuando dicha carga sea desfavorable para el modo de fallo analizado): El valor de combinación de la carga de amarre se obtendrá de forma equivalente que en el caso de condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga, pero considerando la condición climática límite asociada a las maniobras de atraque. – Para las cargas de amarre debidas a la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante la maniobra de atraque (cuando dicha carga sea desfavorable para el modo de fallo analizado): El valor de combinación se obtendrá de forma equivalente a lo establecido en esta tabla para el valor representativo de las cargas de amarre en condiciones operativas correspondientes a la permanencia del buque en el atraque, para el buque al que está asociado el valor característico de la energía cedida al sistema de atraque durante la maniobra de atraque y en las condiciones climáticas límite asociadas a las operaciones de atraque.
Condiciones de Trabajo Extremas y Condiciones Excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario (en aquellos casos en los que no se limite la permanencia del buque en el atraque) (CT2 y CT3,1)	El más desfavorable para el modo de fallo analizado entre los asociados al cuantil del 85% de las funciones de distribución de las cargas de amarre condicionada al valor representativo adoptado para la variable climática predominante que define la condición de trabajo extrema o excepcional, correspondientes a cada uno de los tipos de buque y situación de carga de los mismos que componen la flota esperable en el atraque.

Valores representativos de las cargas de amarre, utilizando para su determinación métodos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados (continuación)

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental (CT3,2) ¹⁾	Valor asociado al cuantil del 85% de la función de distribución media marginal de la carga de amarre considerada.	Valor asociado al cuantil del 50% de la función de distribución media marginal de la carga de amarre considerada.
CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CUASI-PERMANENTE	
Condiciones de Trabajo Extremas y Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	Valor asociado al cuantil del 50% de la función de distribución media marginal de la carga de amarre considerada.	
Notas		
1) Se adoptará como valor representativo el valor frecuente cuando las cargas de amarre sean el agente variable predominante para el modo de fallo analizado. En el caso de que las cargas de amarre no sean el agente variable predominante se adoptará como valor representativo el valor cuasi-permanente.		

b) Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación de los modos de fallo en los que intervengan únicamente las cargas de amarre con otros factores directamente correlacionados con las mismas o éstas conjuntamente con otros factores independientes de las mismas o de los agentes de los que dependen, las cargas de amarre, correspondientes a cada tipo y situación de carga del buque, en un elemento del sistema de amarre en cada condición de trabajo operativa (permanencia del buque en el atraque, realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros con buque atracado y operaciones de atraque) se definirán por medio de las funciones de distribución marginales de la variable que caracteriza al agente carga de amarre (carga máxima en la línea de amarre, carga máxima en las defensas o carga máxima en el punto de amarre), en las condiciones climáticas límite asociadas a dicha condición operativa. Estas funciones podrán definirse por medio de las funciones de densidad conjunta de los registros disponibles correspondientes a las condiciones climáticas y operativas límite asociadas a cada condición de trabajo operativa (Ver notas 21, 22 y 23).

Siempre que no se limite la permanencia del buque en el atraque para un determinado agente meteorológico, para la verificación de los modos de fallo en condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de un agente climático de carácter extraordinario, para cada tipo y situación de carga del buque, las cargas de amarre se definirán por medio de las funciones de distribución de la variable que caracteriza dichas cargas en el elemento del sistema de amarre considerado, condicionadas a los diferentes valores extremos de la variable climática que define el estado meteorológico o excepcional considerado. Estas funciones podrán definirse por medio de las funciones de densidad conjunta de los registros simultáneos disponibles correspondientes a cargas de amarre y variables climáticas en condiciones de temporal.

Para la verificación de modos de fallo en condiciones excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental, así como en condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica, la variable de las cargas de amarre considerada para el modo de fallo analizado se definirá por medio de la función media marginal de dicha variable, obtenida a partir de todos los registros disponibles, sin segregación por tipo de buque, situación de carga o condición climática.

Para la verificación mediante formulaciones probabilísticas de modos de fallo últimos o de servicio en los que intervengan conjuntamente con las cargas de amarre otros factores dependientes de alguno de los agentes de los que éstas dependen, deberían definirse funciones de distribución de la

variable que caracteriza al agente carga de amarre, condicionadas a los distintos valores del agente o agentes comunes del que dependen los factores de actuación simultánea, con el objeto de considerar valores compatibles de todos los factores que intervienen en el proceso de verificación (p.e. funciones de distribución de las cargas de amarre condicionadas a la velocidad y dirección del viento cuando deba considerarse que actúan simultáneamente que las cargas de manipulación de mercancías).

Dada la estrecha dependencia de los registros de cargas de amarre con las condiciones locales existentes en el emplazamiento y con la configuración y características del sistema de amarre y defensas para cada tipo de buque, la extrapolación de las funciones de densidad y distribución, así como de los valores representativos de las cargas de amarre asociados a las mismas, no pueden generalizarse y son únicamente aplicables en el emplazamiento en que se han obtenido los registros o en emplazamientos en los que se den condiciones climáticas similares, siempre que se utilice idéntica configuración y características del sistema de amarre y defensas. En cualquier caso, para su utilización en otros emplazamientos deberá valorarse expresamente si dichas funciones de distribución y los valores representativos asociados pueden considerarse suficientemente fiables y representativas para los mismos.

4.6.4.4.7.1.3. Modelos matemáticos

Cuando no se disponga de registros fiables, completos y suficientes de las cargas de amarre en obras de atraque que puedan extrapolarse a la situación considerada de acuerdo con lo previsto en el apartado anterior, para la determinación de estas cargas deberán utilizarse modelos matemáticos y/o experimentales.

El tratamiento matemático del comportamiento dinámico del sistema buque/amarras/defensas/estructura de atraque sometido a la acción de fuerzas exteriores no es sencillo en razón de la gran cantidad y diferente naturaleza de las variables que intervienen en el proceso. Por dicha razón, los modelos analíticos tradicionales, únicos modelos matemáticos disponibles hasta hace algunos años, no se consideran de mucha fiabilidad para aquellos casos en los que pueden producirse comportamientos resonantes del buque amarrado, aunque se consideran suficientemente precisos para atraques situados en zonas abrigadas cuando no actúan ondas largas ni grandes corrientes. En estas condiciones hay muchas obras de atraque proyectadas con ellos que vienen prestando un servicio satisfactorio. Por las razones señaladas, hasta la aparición de modelos numéricos fiables ha venido siendo prácticamente imprescindible la realización de ensayos complementarios en modelo físico de buques atracados para la determinación o validación de las cargas de amarres y los movimientos asociados de los buques amarrados. Ésto es especialmente necesario en amarraderos de orientación libre (monoboyas y monoduques de alba) y de orientación fija (campos de boyas), en general cuando la estructura de atraque es flotante o, independientemente de la tipología de la estructura de atraque, cuando las condiciones climáticas límite adoptadas para la permanencia del buque en el atraque se definan como Tipo III de acuerdo con lo establecido en la tabla 4.6.4.49 y, particularmente, cuando sean significativos en el emplazamiento el oleaje, las ondas largas, las corrientes longitudinales o los efectos hidrodinámicos generados por el paso de buques en tránsito que pueden actuar sobre el buque amarrado, ya que en estos casos pueden producirse amplificaciones dinámicas relevantes. Es decir, la validez de los modelos analíticos tradicionales para la determinación de las cargas de amarre estará limitada a aquellos casos en los que los periodos de las componentes relevantes de las fuerzas resultantes de la actuación de acciones exteriores sobre el buque amarrado estén alejados de los periodos naturales de oscilación de los movimientos horizontales del buque amarrado.

En la actualidad, los avances recientes en las técnicas computacionales han permitido el desarrollo y disponibilidad comercial de herramientas numéricas más avanzadas que permiten la completa modelización del comportamiento del buque amarrado sometido a la acción del conjunto de fuerzas exteriores, cualesquiera que éstas sean, con suficiente precisión. Por dicha razón, la utilización de los modelos analíticos quedará limitada con carácter general a la realización de estudios previos y al predimensionamiento inicial de la configuración y características del sistema de amarre y defensas capaz de resistir los efectos de las acciones exteriores que actúan sobre el buque, manteniendo simultáneamente los movimientos de éste en valores admisibles, sin perjuicio de su fiabilidad suficiente para obras de atraque fijas situadas en zonas abrigadas para buque amarrado

lateralmente o de costado, cuando las condiciones de permanencia del buque en el atraque se definan como Tipos I y II.

Por otra parte conviene señalar que la utilización cada vez más frecuente de dispositivos (chigres) de tensión constante en los buques puede simplificar mucho la determinación de las cargas en las líneas de amarre (no así de las cargas sobre las defensas ni los movimientos del buque), al estar limitado el escalón máximo de tensión posible en estos dispositivos a un valor del orden del 40% de la carga última de las amarras disponibles a bordo, siempre y cuando con dicha tensión y la configuración y características adoptada para el sistema de amarre sean admisibles los movimientos del buque amarrado y las cargas generadas sobre las defensas en la condición de trabajo considerada.

a) Modelos analíticos

Los modelos matemáticos analíticos tradicionales utilizados para determinar las cargas de amarre se basan en una simplificación respecto a la naturaleza dinámica del sistema buque/sistemas de amarre/defensas/estructura de atraque, estableciendo las ecuaciones del equilibrio estático en el estado considerado, de modo que la componente cuasi-estática (valor medio) horizontal de las fuerzas restauradoras producidas por los sistemas de amarre y atraque iguale a la componente cuasi-estática (valor medio) horizontal de la resultante de las acciones exteriores sobre el buque. Es decir:

$$\begin{aligned}\Sigma R_L &= 0 \\ \Sigma R_T &= 0 \\ \Sigma M_{CG} &= 0\end{aligned}$$

Siendo:

- ΣR_L : Suma de las componentes cuasi-estáticas en el sentido longitudinal del buque de las fuerzas exteriores y de las fuerzas restauradoras producidas por los sistemas de amarre y atraque.
- ΣR_T : Suma de las componentes cuasi-estáticas en el sentido transversal del buque de las fuerzas exteriores y de las fuerzas restauradoras producidas por los sistemas de atraque y amarre.
- ΣM_{CG} : Suma de momentos de eje vertical en el centro de gravedad del buque de las componentes cuasi-estáticas de las fuerzas exteriores y de las fuerzas restauradoras producidas por los sistemas de atraque y amarre.

Las componentes cuasi-estáticas de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque ⁽¹¹³⁾ se considera que se distribuyen entre los distintos elementos que componen los sistemas de amarre, defensa y atraque en función de la configuración, de las características geométricas y de las propiedades resistentes y de deformación de los mismos, así como de la pretensión o compresión inicial o mantenida a la que están sometidas, en su caso, las líneas de amarre y las defensas, respectivamente. Para ello, con carácter general deberá solucionarse el sistema de ecuaciones que surja de plantear, sin considerar que se produce acoplamiento entre los movimientos del buque:

- ◆ la compatibilidad entre los movimientos de deriva, vaivén y guiñada del buque, considerados independientes entre sí, y las deformaciones de las líneas de amarre, defensas y estructura de atraque.
- ◆ el equilibrio entre la resultante horizontal de la componente cuasi-estática de los esfuerzos generados en líneas de amarre y defensas, así como eventualmente en la obra de atraque, correspondiente a estos movimientos con la componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores que actúan sobre el buque.

(113) A las componentes cuasi-estáticas de las resultantes horizontales de las fuerzas exteriores que actúan sobre el buque se las conoce generalmente como fuerzas de deriva.

La aplicación práctica de este procedimiento, considerando rígida la obra de atraque y órdenes de magnitud de los máximos movimientos del buque amarrado pequeños, puede realizarse mediante la siguiente formulación general:

1. En las líneas de amarre se cumplen las siguientes relaciones (Ver figura 4.6.4.33):

$$\Delta Q_{v,46,m,i} = \frac{\Delta Q_{v,46,m,i]T}}{\text{sen}\alpha_{m,i} \cdot \cos\beta_{m,i}} = \frac{\Delta Q_{v,46,m,i]L}}{\cos\alpha_{m,i} \cdot \cos\beta_{m,i}} = \frac{\Delta Q_{v,46,m,i]V}}{\text{sen}\beta_{m,i}}$$

Es decir:

$$\Delta Q_{v,46,m,i]T} = \Delta Q_{v,46,m,i} \cdot \text{sen}\alpha_{m,i} \cdot \cos\beta_{m,i} = (E_{m,i} \cdot A_{m,i} \cdot \varepsilon_{m,i}) \cdot \text{sen}\alpha_{m,i} \cdot \cos\beta_{m,i} = k_{m,i]T} \cdot \varepsilon_{m,i}$$

$$\Delta Q_{v,46,m,i]L} = \Delta Q_{v,46,m,i} \cdot \cos\alpha_{m,i} \cdot \cos\beta_{m,i} = (E_{m,i} \cdot A_{m,i} \cdot \varepsilon_{m,i}) \cdot \cos\alpha_{m,i} \cdot \cos\beta_{m,i} = k_{m,i]L} \cdot \varepsilon_{m,i}$$

$$\Delta Q_{v,46,m,i]V} = \Delta Q_{v,46,m,i} \cdot \text{sen}\beta_{m,i} = (E_{m,i} \cdot A_{m,i} \cdot \varepsilon_{m,i}) \cdot \text{sen}\beta_{m,i}$$

Siendo:

$\Delta Q_{v,46,m,i}$: incremento de la carga en la línea de amarre i debido a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado (en unidades de fuerza).

$\Delta Q_{v,46,m,i]T}$: componente transversal del incremento de carga en la línea de amarre i debido a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado (en unidades de fuerza).

$\Delta Q_{v,46,m,i]L}$: componente longitudinal del incremento de carga en la línea de amarre i debido a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado (en unidades de fuerza).

$\Delta Q_{v,46,m,i]V}$: componente vertical del incremento de carga en la línea de amarre i debido a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado (en unidades de fuerza).

$\alpha_{m,i}$: ángulo que forma la proyección horizontal de línea de amarre i con la línea paralela al eje longitudinal del buque que pasa por el punto de amarre, medido a partir del eje positivo de abscisas (sentido de actuación de la componentes longitudinal de la resultante de las fuerzas exteriores (Ver figura 4.6.4.33).

$\beta_{m,i}$: ángulo vertical que forma la línea de amarre i con la horizontal (Ver figura 4.6.4.33).

$E_{m,i}$: módulo de deformación de la línea de amarre i , dependiente de la tensión total en la línea de amarre. Se obtiene del diagrama tensión-deformación de la amarra (Ver figura 4.6.4.32). Simplificadamente puede adoptarse el correspondiente a la condición de tensionado inicial de la línea de amarre establecido por el Promotor o adoptado por el proyectista al definir la configuración y características del sistema de amarre o el correspondiente a la tensión adoptada en el caso de que se consideren dispositivos de tensión constante. En ausencia de otros criterios puede adoptarse como carga inicial usual en las líneas de amarre la correspondiente al 10% de su carga de rotura ⁽¹¹⁴⁾.

$A_{m,i}$: área de la línea de amarre i .

$\varepsilon_{m,i}$: deformación unitaria de la línea de amarre i debida a la actuación de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado. Es decir:

$$\varepsilon_{m,i} = \frac{\Delta l_{m,i}}{l_{m,i}}$$

(114) El módulo de deformación de la línea de amarre i se define como:

$$E_{m,i} = \frac{Q_{v,46,m,i} / A_{m,i}}{\varepsilon_{m,i}} = \frac{Q_{v,46,m,i} / A_{m,i}}{\Delta l_{m,i} / l_{m,i}}$$

Siendo:

$Q_{v,46,m,i}$: La carga de amarre o fuerza de tracción en la línea de amarre i .

$\varepsilon_{m,i}$: Deformación unitaria de la línea de amarre i cuando actúa la carga de amarre.

$A_{m,i}$: Área de la línea de amarre i .

$\Delta l_{m,i}$: Incremento de longitud de la línea de amarre i cuando actúa la carga de amarre.

$l_{m,i}$: Longitud inicial de la línea de amarre i .

- $k_{m,i]T}$: coeficiente de rigidez de la amarra i para movimientos de deriva (transversales al buque). Se define como el cociente entre la componente transversal del incremento de carga en la línea de amarre y su deformación unitaria.
- $k_{m,i]L}$: coeficiente de rigidez de la amarra i para movimientos de vaivén (longitudinales al buque). Se define como el cociente entre la componente longitudinal del incremento de carga en la línea de amarre y su deformación unitaria.

2. En las defensas se cumplen las siguientes relaciones (Ver figura 4.6.4.33):

$$\Delta Q_{v,46,f,i]T} = E_{f,i} \cdot \Delta \delta_{fc,i} \quad ; \quad \Delta Q_{v,46,f,i]L} = \mu_{f,i} \cdot \Delta Q_{v,46,f,i]T} = \mu_{f,i} \cdot E_{f,i} \cdot \Delta \delta_{fc,i}$$

Siendo:

- $\Delta Q_{v,46,f,i]T}$: incremento de la carga de compresión en la defensa i debido a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado (en unidades de fuerza).
- $\Delta Q_{v,46,f,i]L}$: incremento de la fuerza de rozamiento en la defensa i debido a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado (en unidades de fuerza).
- $E_{f,i}$: módulo de deformación de la defensa i , dependiente de la deformación inicial pre-existente en la misma. Se obtiene de las curvas de comportamiento del sistema de defensas y atraque (Ver figura 4.6.2.21). Simplificadamente puede adoptarse el correspondiente a la condición de compresión inicial de la defensa y estructura de atraque establecida por el Promotor o adoptada por el Proyectista al definir la configuración y características de sistema de amarre. En ausencia de otros criterios puede adoptarse el correspondiente a los tramos lineales de las curvas de comportamiento de la defensa y de la estructura de atraque.
- $\Delta \delta_{fc,i}$: desplazamiento de la defensa i y, en su caso, de la estructura de atraque debido a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado.
- $\mu_{f,i}$: coeficiente de fricción entre el caso del buque y la defensa i en la zona de contacto.

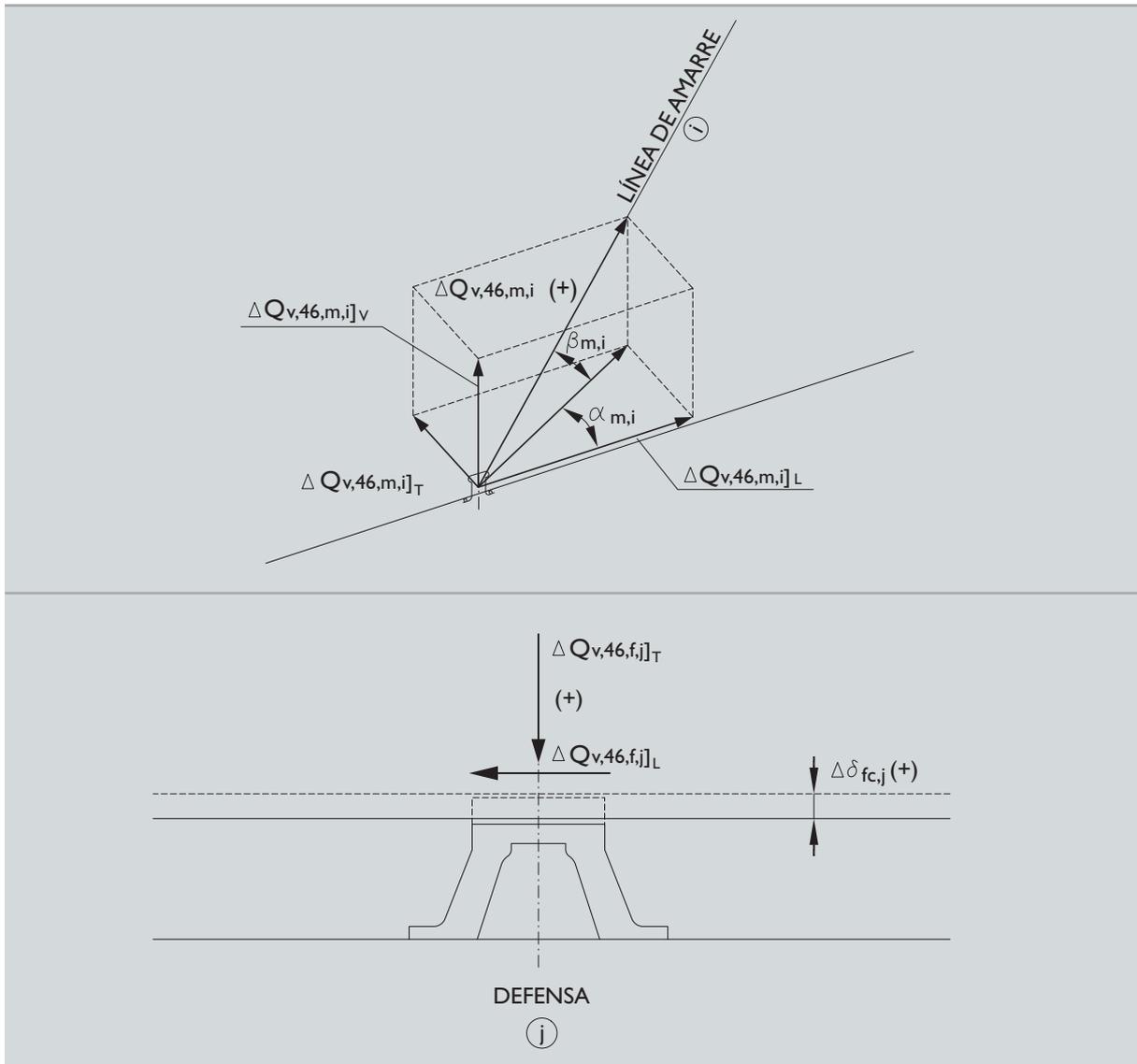
3. De acuerdo con lo establecido en los puntos 1 y 2, el equilibrio entre la resultante horizontal de la componente cuasi-estática de los esfuerzos generados en las líneas de amarre y defensas con la componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerza exteriores sobre el buque amarrado puede expresarse:

$$\begin{aligned} \sum_i \Delta Q_{v,46,m,i]T} + \sum_j \Delta Q_{v,46,f,j]T} &= \sum_i \left[k_{m,i]T} \cdot \frac{\Delta l_{m,i}}{l_{m,i}} \right] + \sum_j [E_{f,j} \cdot \Delta \delta_{fc,j}] = \sum R_{\text{fuerzas exteriores]T}} \\ \sum_i \Delta Q_{v,46,m,i]L} + \sum_j \Delta Q_{v,46,f,j]L} &= \sum_i \left[k_{m,i]L} \cdot \frac{\Delta l_{m,i}}{l_{m,i}} \right] + \sum_j [\mu_{f,j} \cdot E_{f,j} \cdot \Delta \delta_{fc,j}] = \sum R_{\text{fuerzas exteriores]L}} \\ \sum_i [\Delta Q_{v,46,m,i]T} \cdot a_{m,i}] + \sum_i [\Delta Q_{v,46,f,j]T} \cdot b_{f,j}] &= \sum_i \left[k_{m,i]T} \cdot a_{m,i} \cdot \frac{\Delta l_{m,i}}{l_{m,i}} \right] + \sum_j [E_{f,j} \cdot b_{f,j} \cdot \Delta \delta_{fc,j}] = \\ &= \sum R_{\text{fuerzas exteriores]M}} \end{aligned}$$

Siendo:

- $\sum R_{\text{fuerzas exteriores]T}$: componente transversal de la resultante horizontal de la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado.
- $\sum R_{\text{fuerzas exteriores]L}$: componente longitudinal de la resultante horizontal de la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado.
- $\sum R_{\text{fuerzas exteriores]M}$: momento de eje vertical en el centro de gravedad del buque resultante de la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado.
- $a_{m,i}$: distancia horizontal entre el cabrestante o chigre del buque correspondiente a la línea de amarre i y el plano vertical perpendicular al eje longitudinal del buque que pasa por su centro de gravedad. Se tomará como positiva si el momento restaurador generado por la componente trans-

Figura 4.6.4.33. Descomposición de fuerzas en línea de amarre y defensas



- $b_{f,j}$: distancia horizontal entre el eje de la defensa j y el plano vertical perpendicular al eje longitudinal del buque que pasa por su centro de gravedad. Se tomará como positiva si el momento restaurador generado por el incremento de compresión en la defensa j es contrario al momento resultante de los agentes exteriores sobre el buque amarrado.
- i : líneas de amarre que se mantienen en tensión ⁽¹¹⁵⁾, adoptándose el signo positivo para cargas y deformaciones en los casos en los que se produz-

(115) Los esfuerzos en las amarras o sobre las defensas no pueden tener valores globales negativos. Si dichos esfuerzos salen negativos hay que eliminar las líneas de amarre o defensas afectadas, aumentar la tensión inicial de líneas y/o la compresión inicial de defensas o utilizar configuraciones con menos líneas/defensas, lo que puede hacer necesario realizar un proceso de aproximaciones sucesivas. La tensión inicial de cada línea y compresión inicial de la defensa adoptadas por el Proyectista para cada buque, situación del carga del mismo y condición de trabajo deberán consignarse en las condiciones de explotación de la instalación.

can incrementos de tracción y alargamientos en las mismas (Ver figura 4.6.4.33).

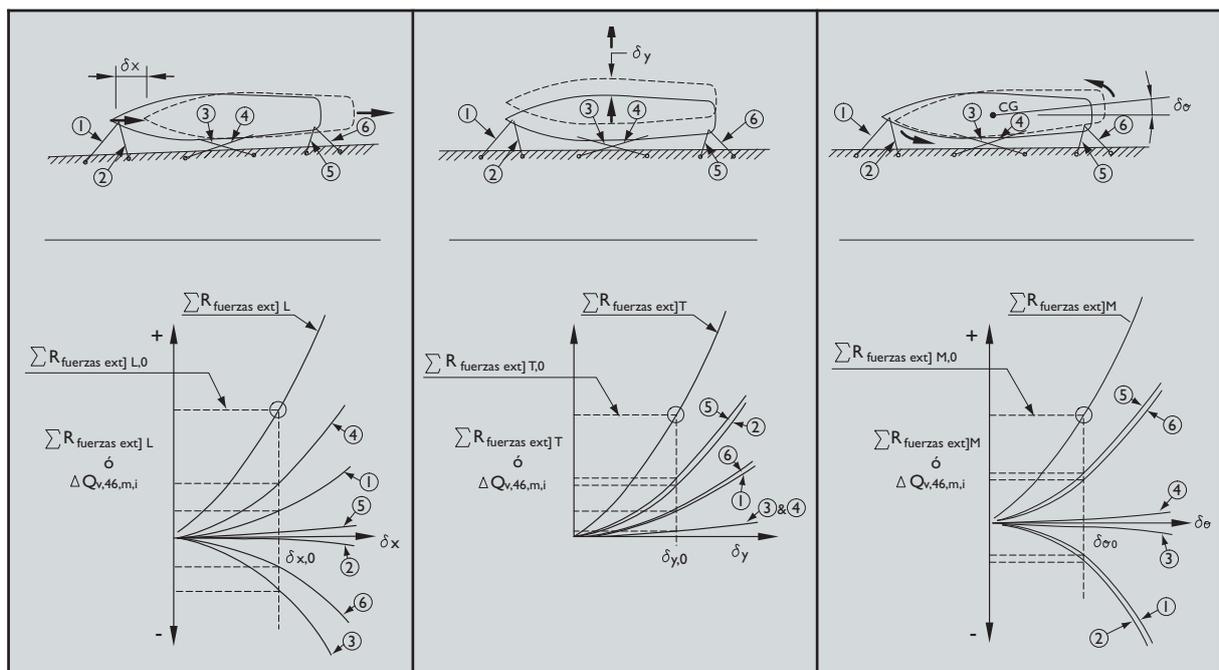
j : defensas que se mantienen comprimidas (Ver nota 26), adoptándose el signo positivo para cargas y deformaciones en los casos en los que se produzcan compresiones y acortamientos en las mismas (Ver figura 4.6.4.33).

- Las deformaciones de las líneas de amarre y defensas se definirán como función de los movimientos transversal y longitudinal del centro de gravedad del buque, así como de la rotación del mismo respecto al eje vertical que pasa por dicho centro de gravedad (Ver figura 4.6.4.34):

$$\Delta l_{m,i} = f_i (\delta_x, \delta_y, \delta_\theta)$$

$$\Delta \delta_{fc,j} = f_j (\delta_x, \delta_y, \delta_\theta)$$

Figura 4.6.4.34. Obtención de las fuerzas en los elementos de amarre y defensas por medio de la definición previa de las funciones de correlación entre cada movimiento horizontal del buque amarrado, la componente de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores que lo genera y las cargas de amarre a que da lugar



A partir de las funciones de correlación entre cada movimiento horizontal del buque amarrado y la componente de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores que lo genera y los incrementos de cargas de amarre a que da lugar en cada línea de amarre, la carga de amarre total en una línea de amarre asociada a la resultante horizontal de las fuerzas exteriores puede obtenerse de acuerdo con la siguiente metodología:

- Para el valor actuante de cada una de las componentes de la resultante de las fuerzas exteriores

$$\left[\sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]_{L,0}, \sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]_{T,0}, \sum R_{\text{fuerzas exteriores}}]_{M,0} \right],$$

obtener el desplazamiento generado por cada una de ellas en la correspondiente función $[\delta_{x,0}, \delta_{y,0}, \delta_{\theta,0}]$.

- El incremento de carga total en la línea de amarre i será la suma de los incrementos de carga correspondientes a los desplazamientos asociados a cada una de las componentes de la resultante de las fuerzas exteriores, obtenidos en la correspondiente función. Es decir:

$$\Delta Q_{v,46,m,i}]_{\text{fuerzas exteriores},0} = \Delta Q_{v,46,m,i}]_{\delta_{x,0}} + \Delta Q_{v,46,m,i}]_{\delta_{y,0}} + \Delta Q_{v,46,m,i}]_{\delta_{\theta,0}}$$

5. Combinando la formulación establecida en los puntos 3 y 4 se obtiene un sistema general de tres ecuaciones con tres incógnitas (matriz de respuesta), cuya resolución permite obtener directamente los movimientos horizontales del buque y en segundo lugar los incrementos (o decrementos) de carga en líneas de amarre y defensas respecto a las tensiones o compresiones iniciales asociados a la actuación de los agentes exteriores sobre el buque amarrado.

La aplicación de este procedimiento para averiguar las cargas críticas en líneas de amarre y defensas sin solucionar matemáticamente el sistema múltiple a que da lugar puede realizarse por superposición de las cargas de amarre debidas aisladamente a cada una de las componentes de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores. Para ello, para cada uno de los movimientos de deriva (δ_y), vavén (δ_x), y guiñada (δ_θ), deberán obtenerse gráfica o analíticamente las funciones que correlacionan cada valor del movimiento considerado con el incremento de la carga de amarre que se produce en cada una de las líneas de amarre y defensas utilizando la ecuación correspondiente de las definidas en los puntos 1 y 2, a partir de la dependencia existente entre cada movimiento del buque y el alargamiento de las líneas de amarre o la comprensión de las defensas, así como la función que correlaciona dicho movimiento con el valor de la componente de la resultante de las fuerzas exteriores utilizando la ecuación correspondiente de las definidas en el punto 3. Las cargas de amarre debidas a cada componente de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque serán las correspondientes al valor del movimiento asociado con el valor de dicha componente (Ver figura 4.6.4.34). La carga de amarre total en cada línea de amarre y defensa se obtendrá como suma de la debida a cada una de las componentes.

Simplificaciones admisibles de este procedimiento para determinadas configuraciones y características del sistema de amarre se desarrollan en el subapartado a_2 de este apartado. A su vez, los criterios para la determinación de la resultante de las fuerzas exteriores actuantes sobre el buque se incluyen en el subapartado a_2 de este apartado.

Mediante este modelo, las cargas máximas y las cargas mínimas sobre cada uno de dichos elementos se definen simplificadaamente a partir de las componentes cuasi-estáticas obtenidas como resultado de este procedimiento, por medio de coeficientes de mayoración y minoración, respectivamente, que estiman la amplitud de las componentes de fluctuación respecto a los valores medios. El valor de dichos coeficientes se desarrolla en el subapartado a_3 de este apartado.

a₁) Componentes cuasi-estáticas de las resultantes horizontales de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado

- a₁₁) Buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija con muelle, pantalán o conjunto de duques de alba (para buques con $L \geq 25$ m)

A los efectos de la determinación de las componentes cuasi-estáticas de las resultantes horizontales de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija, puede considerarse simplificadaamente que la posición horizontal relativa del buque respecto a la dirección de las fuerzas actuantes se mantiene constante y coincidente con la posición teórica de reposo en que se encuentra el buque amarrado cuando no actúan los agentes climáticos y operacionales sobre el mismo.

Las componentes horizontales de las resultantes debidas a la actuación de los agentes climáticos y operacionales sobre el buque amarrado pueden estimarse de acuerdo con lo consignado en los siguientes epígrafes.

- *Resultante horizontal de la acción del viento sobre el buque amarrado*

La componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado lateralmente o de costado es una fuerza de arrastre horizontal (R_V),

pudiendo considerarse formada por las siguientes componentes aplicadas en el centro de gravedad del buque ⁽¹¹⁶⁾:

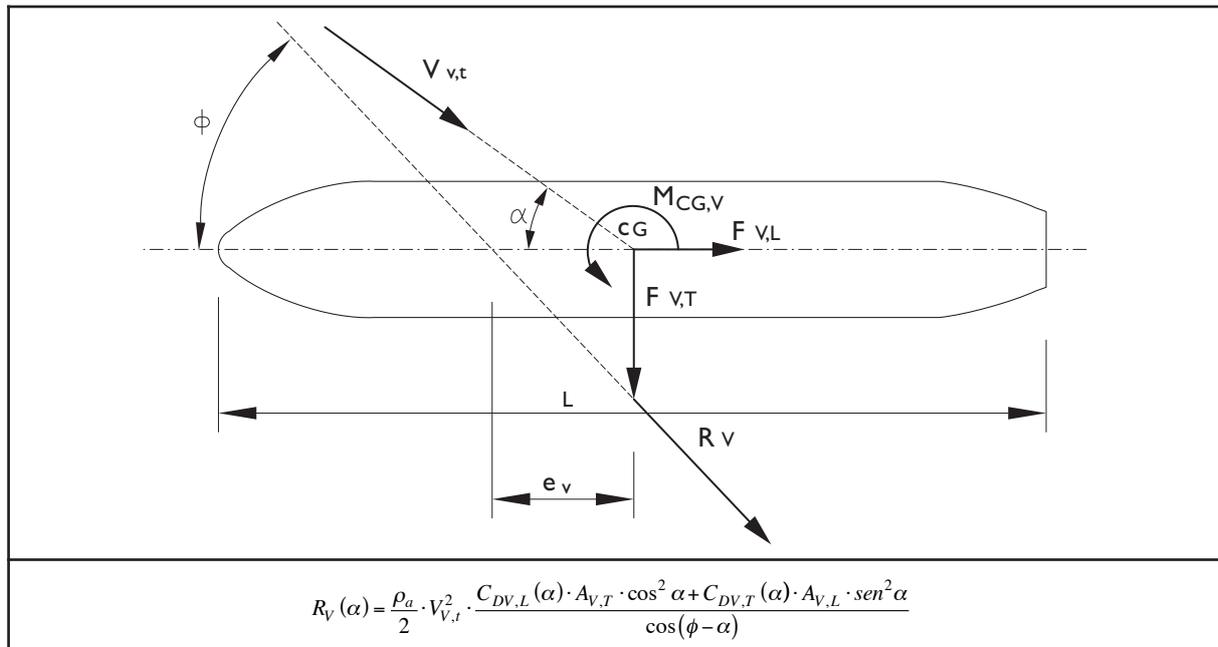
- Una componente en el sentido longitudinal del buque ($F_{V,L}$).
- Una componente en el sentido transversal del buque ($F_{V,T}$).
- Un momento de eje vertical ($M_{CG,V}$), debido a la excentricidad de la fuerza resultante respecto al eje de gravedad del buque.

Esta fuerza de arrastre y sus componentes podrán determinarse mediante la formulación consignada en la tabla 4.6.4.59.

Cuando dos buques estén amarrados simultáneamente a ambos lados de una obra de atraque (p.e. pantalán), la fuerza de arrastre resultante de la actuación de viento transversal sobre el buque a resguardo podrá aproximarse mediante la aplicación del efecto sombra definido en el apartado 3.2.2.5 de la ROM 0.4-95, adoptando como factores de espaciamiento y de opacidad aerodinámico los señalados en el apartado 3.2.2.8.1 de dicha Recomendación.

Simplificadamente, si los dos buques son iguales o de características similares y están amarrados a ambos lados de una obra de atraque de ancho menor o igual a 30 metros, la fuerza de arrastre resultante de la actuación de viento transversal sobre el buque a resguardo podrá aproximarse del lado de la seguridad al 50% de la obtenida para el buque expuesto. Asimismo, podrá admitirse que la fuerza de arrastre resultante de la actuación de viento transversal sobre n buques de características similares abarloados es igual a $(1+n/10) \cdot F_{V,T}$.

Tabla 4.6.4.59. Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija



(116) A falta de mejor información, es admisible considerar simplificadamente a estos efectos que el centro de gravedad del buque coincide con su centro geométrico (1/2 eslora, 1/2 manga).

Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija (continuación)

$$F_{VL}(\alpha) = R_V(\alpha) \cdot \cos\phi$$

$$F_{VT}(\alpha) = R_V(\alpha) \cdot \operatorname{sen}\phi$$

$$M_{CG,V}(\phi) = F_{VT}(\alpha) \cdot e_V(\alpha) = F_{VT}(\alpha) \cdot K_{V,e}(\alpha) \cdot L$$

$$\phi(\alpha) = \operatorname{arctg} [(A_{VL}/A_{VT}) \cdot \operatorname{tg}\alpha]$$

Siendo:

$R_V(\alpha)$: Fuerza total de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección α , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado. (kN)

$\phi(\alpha)$: Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de la fuerza de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección α sobre el buque amarrado.

$F_{VL}(\alpha)$: Componente en sentido longitudinal del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)

$F_{VT}(\alpha)$: Componente en sentido transversal del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)

$M_{CG,V}(\alpha)$: Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque.
(kN · m)

ρ_a : Densidad del aire. En general, para el cálculo de la fuerza total de arrastre resultante de la acción del viento sobre el buque se recomienda tomar como valor nominal de este parámetro $1,23 \cdot 10^{-3} \text{ t/m}^3$, independientemente del emplazamiento y del estado meteorológico considerado. Ello es debido a que para muchos autores con carácter general es admisible considerar que los posibles aumentos que se producen en la densidad del aire cuando arrastra altos contenidos de agua o partículas sólidas producen una reducción de la velocidad del viento para mantener su energía cinética, por lo que ambos efectos podrían compensarse a los efectos de la determinación de la fuerza de arrastre. No obstante, en aquéllos casos en los que el oleaje, la precipitación o el contenido de partículas sólidas compatible con el viento considerado sean significativos en el emplazamiento, la anterior compensación podría no ser suficientemente válida por lo que, de acuerdo con lo previsto en el apartado 4.5 de esta Recomendación, el proyectista deberá adoptar justificadamente otros valores para la densidad del aire que tengan en cuenta estos efectos, en razón de su experiencia, de ensayos realizados o de mediciones disponibles.

A_{VL} : Área emergida de la proyección del buque sobre un plano vertical que contenga a su eje longitudinal, incluyendo todos sus elementos y las cargas en cubierta, en la situación de carga considerada. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, para buques a plena carga puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo, no tomando en consideración la posibilidad de carga en cubierta. Para buques portacontenedores la existencia de contenedores en cubierta puede considerarse que supone aumentos de superficie del orden del 25% para buques feeder y del 20% para buques mayores. (m^2).

Para buques con desplazamiento en lastre o cargados parcialmente, A_{VL} podrá estimarse mediante la siguiente formulación:

$$A_{VL} = L_{pp} \cdot (G + h_L)$$

siendo:

L_{pp} : eslora entre perpendiculares del buque. (m)

G : francobordo del buque = puntal-calado. (m)

h_L : altura media de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano vertical paralelo que contenga al eje longitudinal del buque. (m)

Los valores nominales de los parámetros L_{pp} y G para buques en lastre o cargados parcialmente podrán estimarse a partir de los valores de L_{pp} y B correspondientes a los mismos buques a plena carga por medio de la tabla 4.6.4.33, suponiendo que el coeficiente de bloque del buque varía con la situación de la carga de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.32. B). Los valores nominales usuales del parámetro h_L , sin considerar la existencia de cargas en cubierta, pueden tomarse de la tabla 4.1 de la ROM 3.1-99. Particularmente en el caso de buques portacontenedores, deberá tomarse en consideración adicionalmente la altura de estiba en cubierta correspondiente a cada situación de carga. Para aquellos buques que no estén listados en la tabla citada, el valor de h_L podrá aproximarse por medio de la anterior formulación a partir del valor de A_{VL} y de los parámetros L_{pp} y G del buque a plena carga obtenidos de la tabla 4.6.4.33.

A_{VT} : Área emergida de la proyección del buque sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del mismo, incluyendo todos sus elementos y las cargas en cubierta, en la situación de carga considerada. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, para buques a plena carga puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo. La posibilidad de existencia o no carga en cubierta no afecta de forma significativa a este parámetro. (m^2). Para buques con desplazamiento en lastre o cargados parcialmente, A_{VT} podrá estimarse mediante la siguiente formulación:

$$A_{VT} = B \cdot (G + h_T)$$

siendo:

B : manga del buque. (m)

G : francobordo del buque = puntal-calado. (m)

h_T : altura media de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del buque. (m)

Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija (continuación)

Los valores nominales de los parámetros B y G para buques en lastre o cargados parcialmente podrán estimarse de acuerdo con lo señalado a estos efectos para A_{VL} . Los valores nominales usuales del parámetro h_T pueden tomarse de la tabla 4.1 de la ROM 3.1-99. Para aquellos buques que no estén listados en la tabla citada, el valor de h_T podrá aproximarse por medio de la anterior formulación a partir del valor de A_{VT} y de los parámetros B y G del buque a plena carga obtenidos de la tabla 4.6.4.33.

$C_{DV,L}(\alpha)$: Factor adimensional de arrastre para el viento actuando sobre el buque amarrado en la dirección de su eje longitudinal. Su valor es muy variable en función de las características y forma del buque y de su situación de carga. En general está en el rango 0.90-0.40 para buques a plena carga y 1.20-0.4 para buques en lastre. A falta de ensayos específicos en túnel de viento, en tanque o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, pueden adoptarse para el mismo del lado de la seguridad los siguientes valores:

- Buques a plena carga
 - 0,90 para viento de proa ($\alpha = 0^\circ$)
 - 0,70 para viento de popa ($\alpha = 180^\circ$)
- Buques en lastre
 - 1,20 para viento de proa ($\alpha = 0^\circ$)
 - 1,00 para viento de popa ($\alpha = 180^\circ$)

$C_{DV,T}(\alpha)$: Factor adimensional de arrastre para el viento actuando sobre el buque amarrado en dirección perpendicular a su eje longitudinal ($\alpha = 90^\circ$ ó 270°) Su valor es muy variable en función de las características y forma del buque y de su situación de carga. En general está en el rango 1,0-0,80 para la mayor parte de los buques, independientemente de su situación de carga. No obstante, para buques pesqueros, remolcadores, embarcaciones auxiliares y embarcaciones deportivas y de recreo el rango de variación de este factor puede ampliarse hasta 1,50-0,60. A falta de ensayos específicos en túnel de viento, en tanque o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, pueden adoptarse para el mismo del lado de la seguridad los siguientes valores:

- Todo tipo de buques excepto pesqueros, remolcadores, embarcaciones auxiliares y embarcaciones deportivas y de recreo: 1,00.
- Buques pesqueros, remolcadores, embarcaciones auxiliares y embarcaciones deportivas y de recreo: 1,50.

$e_V(\alpha)$: Excéntrica de la fuerza total de arrastre resultante de la acción del viento de dirección α sobre el buque amarrado, con respecto al centro de gravedad del buque y medida sobre el plano de crujía (plano vertical que contiene el eje longitudinal del buque). Se considerará excéntrica positiva la que se produzca hacia la proa del buque. (m)

$K_{V,e}(\alpha)$: Coeficiente adimensional de excéntrica. Su valor es muy variable en función de la situación de carga del buque, así como de la posición de la superestructura del mismo en relación a la dirección de actuación del viento. A falta de ensayos específicos en túnel de viento, en tanque o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, pueden adoptarse para el mismo del lado de la seguridad los siguientes valores:

α (en $^\circ$)	$K_{V,e}$					
	BUQUES CON SUPERESTRUCTURA CENTRADA		BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A PROA		BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A POPA	
	En lastre	A plena carga	En lastre	A plena carga	En lastre	A plena carga
0	0	0	0	0	0	0
30	0,15	0,10	0,33	0,37	0,16	-0,10
60	0,05	0,03	0,18	0,27	0,05	-0,12
90	-0,02	0,02	-0,04	0,16	-0,04	-0,16
120	-0,10	0,10	-0,05	0,12	-0,18	-0,27
150	-0,20	0,10	-0,16	0,10	-0,33	-0,37
180	0	0	0	0	0	0

$V_{V,t}$: Velocidad horizontal máxima probable correspondiente al estado de viento, considerando un periodo de medición t , en función de las características del buque. (m/s^2). Para t se adoptará el intervalo (ráfaga) más corto capaz de vencer la inercia del buque. Simplificadamente, de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.2.1, se adoptará:

- Buques de eslora igual o mayor de 25 m: $t = 1 \text{ min}$.
- Buques de eslora menor de 25 m: $t = 15 \text{ s}$.

Como criterio general es admisible tomar para dicha velocidad la correspondiente a 10 m de altura. No obstante, si el centro de las presiones del viento sobre el buque está situado a una altura significativamente diferente a ésta se adoptará la velocidad correspondiente a la altura del centro de gravedad de la sección expuesta al viento. Esta velocidad puede obtenerse a partir de la correspondiente a 10 m de altura por medio del perfil de velocidades de viento definido en el apartado 2.1.2 de la ROM 0,4-94, así como en la tabla 4.6.2.1 de esta Recomendación.

L : Eslora total del buque. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo.

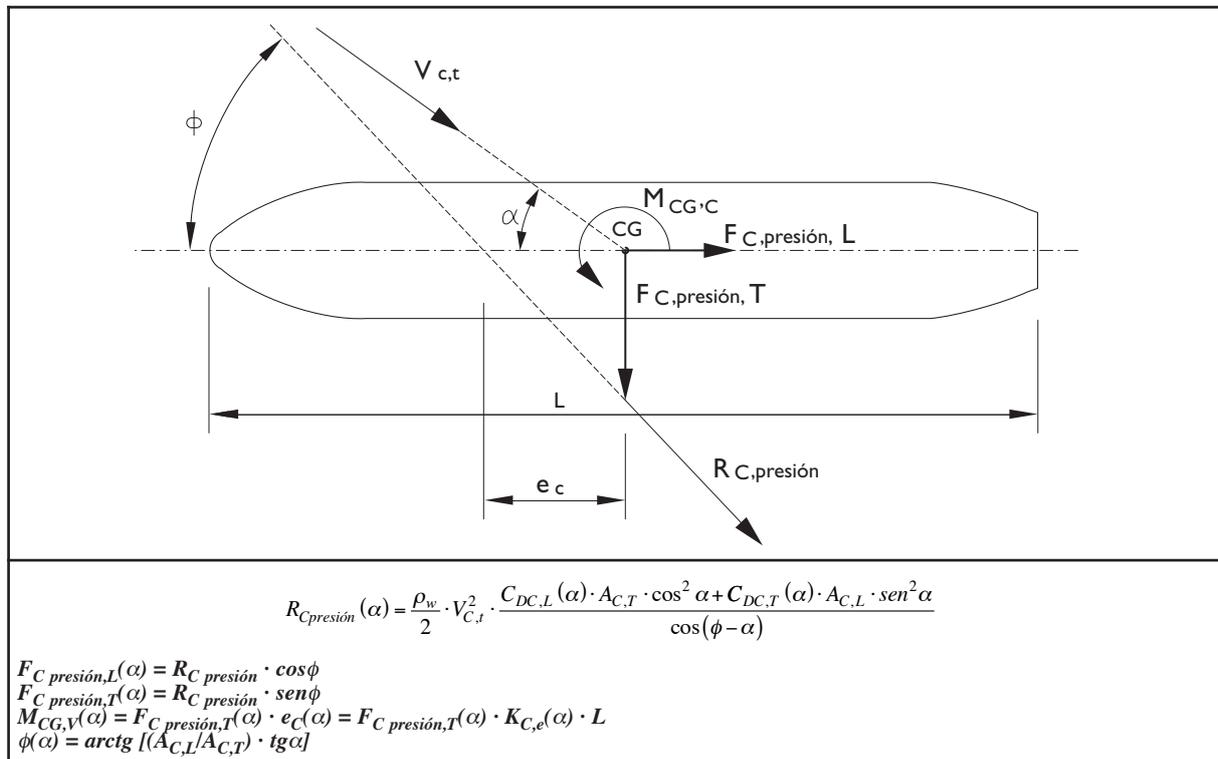
■ Resultante horizontal de la acción de la corriente sobre el buque amarrado

La componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción de las corrientes naturales sobre un buque amarrado lateralmente o de costado es una fuerza de arrastre horizontal (R_C), pudiendo considerarse formada por las siguientes componentes aplicadas en el centro de gravedad del buque (ver nota 27):

- Una componente en sentido longitudinal del buque ($F_{C,L}$), compuesta a su vez por las componentes en dicha dirección de las fuerzas debidas a la presión ($F_{C\text{ presión},L}$) y a la fricción ($F_{C\text{ fricción},L}$) de la corriente sobre el buque [$F_{C,L} = F_{C\text{ presión},L} + F_{C\text{ fricción},L}$].
- Una componente en sentido transversal del buque ($F_{C,T}$), compuesta a su vez por las componentes en dicha dirección de las fuerzas debidas a la presión ($F_{C\text{ presión},T}$) y a la de fricción ($F_{C\text{ fricción},T}$) de la corriente sobre el buque [$F_{C,T} = F_{C\text{ presión},T} + F_{C\text{ fricción},T}$].
- Un momento de eje vertical ($M_{CG,C}$), debido a la excentricidad de la resultante horizontal de las fuerzas de presión en relación con el centro de gravedad del buque.

La resultante horizontal de la acción de la corriente sobre el buque amarrado y sus componentes podrán determinarse mediante la formulación consignada en la tabla 4.6.4.60 para las fuerzas de presión y en la tabla 4.6.4.61 para las fuerzas de fricción. Como podrá observarse con los resultados obtenidos a partir de dichas tablas, cuando la corriente actúa en dirección del eje longitudinal del buque es predominante la resultante de las fuerzas de fricción respecto a las de presión. Por el contrario, cuando la dirección de la corriente es perpendicular al eje citado son predominantes las fuerzas de presión.

Tabla 4.6.4.60. Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de presión debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija



Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de presión debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija (continuación)

Siendo:

$R_{C\text{ presión}}(\alpha)$: Fuerza total de arrastre resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección α , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado. (kN)

$\phi(\alpha)$: Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque amarrado.

$F_{C\text{ presión,L}}(\alpha)$: Componente en sentido longitudinal del buque de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)

$F_{C\text{ presión,T}}(\alpha)$: Componente en sentido transversal del buque de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)

$M_{CG,C}(\alpha)$: Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque. (kN·m)

ρ_w : Densidad del agua. Podrán tomarse como valores nominales de este parámetro los definidos en el apartado 4.5 de esta Recomendación en función del emplazamiento en que se encuentre ubicada la obra de atraque y amarre. (t/m³)

$A_{C,L}$: Área sumergida de la proyección del buque sobre un plano vertical que contenga a su eje longitudinal, en la situación de carga considerada. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, para buques a plena carga puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo. (m²)
Para buques con desplazamiento en lastre o cargados parcialmente, $A_{C,L}$ podrá estimarse mediante la siguiente formulación:

$$A_{C,L} = L_{if} \cdot D$$

Siendo:

L_{if} : eslora del buque a la altura de la línea de flotación. (m)

D : calado del buque en la situación de carga considerada. (m)

El parámetro L_{if} podrá considerarse de lado de la seguridad igual a L_{pp} . Los valores nominales de este parámetro y de D para buques en lastre o cargados parcialmente podrán estimarse a partir de los valores de L_{pp} y B correspondientes a los mismos buques a plena carga por medio de la tabla 4.6.4.33, suponiendo que el coeficiente de bloque varía con la situación de la carga de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.32. B).

$A_{C,T}$: Área sumergida de la proyección del buque sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del mismo, en la situación de carga considerada. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, para buques a plena carga puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo. (m²)
Para buques con desplazamiento en lastre o cargados parcialmente, $A_{C,T}$ podrá estimarse mediante la siguiente formulación:

$$A_{C,T} = B_{if} \cdot D$$

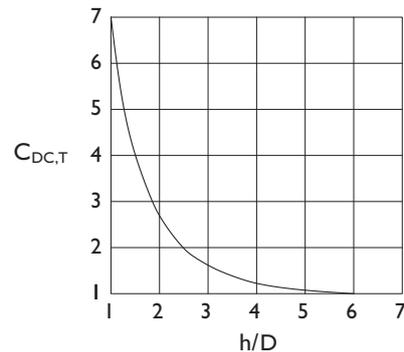
Siendo:

B_{if} : manga del buque a la altura de la línea de flotación. (m)

D : calado del buque en la situación de carga considerada. (m)

El parámetro B_{if} podrá considerarse del lado de la seguridad igual a B . Los valores nominales de B y D para buques en lastre o cargados parcialmente podrán estimarse de acuerdo con lo señalado a estos efectos para $A_{C,L}$.

$C_{DC,T}(\alpha)$: Factor adimensional de forma para la corriente actuando sobre el buque amarrado en la dirección perpendicular a su eje longitudinal ($\alpha = 90^\circ$ ó 270°). Este coeficiente es altamente dependiente del resguardo bajo la quilla, es decir, de la relación entre la profundidad de agua y el calado del buque (h/D), incrementándose a medida que se reduce este último parámetro por efecto del mayor bloqueo del buque al flujo de corriente. En general, su valor en aguas profundas ($h/D > 6$) está en el rango 0,5-1,5. A falta de una determinación más precisa por medio de ensayos en modelo físico o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad podrá adoptarse con carácter general el valor 1 para aguas profundas. La variación de este coeficiente en función de la relación h/D puede obtenerse por medio de los factores de corrección determinados a partir de la siguiente figura, para cualquier forma del buque y dirección de actuación de la corriente.



$C_{DC,L}(\alpha)$: Factor adimensional de forma para la corriente actuando sobre el buque amarrado en la dirección de su eje longitudinal ($\alpha = 0^\circ$ ó 180°). Depende fundamentalmente de la geometría de la proa del buque, no teniendo prácticamente incidencia si la corriente actúa por proa o popa. En general su valor está en el rango 0,2-0,6 para buques con proa angulosa. A falta de una determinación más precisa por medio de ensayos en modelo físico o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, se adoptará el valor 0,2 para buques con bulbo en proa (portacontenedores) y 0,6 para buques con proa convencional. Este coeficiente no es tan dependiente del resguardo bajo quilla como $C_{DC,T}$. Únicamente para relaciones $h/D < 2$ el factor adimensional debe corregirse utilizando un coeficiente multiplicador igual a 1,5.

Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de presión debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija (continuación)

	<p>Para buques que no tengan una proa angulosa, se adoptará como valor para el factor $C_{DC,L}$ el mismo que el adoptado para el factor $C_{DC,T}$.</p> <p>Ambos factores ($C_{DC,L}$ y $C_{DC,T}$) también pueden variar dependiendo de la dimensiones del área de flotación en la que se encuentra emplazada la obra de atraque y amarre. Así en canales de navegación, dársenas u otras áreas de dimensiones restringidas pueden producirse aumentos importantes de estos factores cuando el buque amarrado de lugar a reducciones significativas del área de circulación del flujo de corriente produciendo aumentos de la velocidad de la corriente.</p>																
$e_C(\alpha)$: Excentricidad de la resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque amarrado, con respecto al centro de gravedad del buque y medida sobre el plano de crujía (plano vertical que contiene el eje longitudinal del buque). Se considerará excentricidad positiva la que se produzca hacia la proa del buque. (m)																
$K_{C,e}(\alpha)$: Coeficiente adimensional de excentricidad. Su valor es variable en función de la dirección de actuación de la corriente. A falta de ensayos específicos en modelo físico o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, pueden adoptarse para el mismo los siguientes valores:																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>α (en °)</th> <th>$K_{C,e}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>0,17</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>0,09</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>-0,09</td> </tr> <tr> <td>150</td> <td>-0,17</td> </tr> <tr> <td>180</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	α (en °)	$K_{C,e}$	0	0	30	0,17	60	0,09	90	0	120	-0,09	150	-0,17	180	0
α (en °)	$K_{C,e}$																
0	0																
30	0,17																
60	0,09																
90	0																
120	-0,09																
150	-0,17																
180	0																
$V_{C,t}$: Velocidad horizontal máxima probable correspondiente en el estado meteorológico considerado, adoptando un periodo de medición t igual a 10 <i>min</i> , independientemente de las características del buque. (m/s). Como criterio general es admisible tomar para dicha velocidad el valor medio de la misma en la carena del buque. No obstante, en aquellos casos en que los resguardos bajo quilla sean reducidos, la incidencia de la variación más acusada de la velocidad de la corriente con la profundidad que se produce en las proximidades del fondo debe tomarse en consideración. En estos casos se adoptará para V_C :																
	$V_C = \sqrt{\frac{1}{D} \int_0^D [V_C(z)]^2 \cdot dz}$ <p>A falta de otros datos o de mediciones específicas, en el caso de corrientes de marea puede adoptarse como perfil de la velocidad de la corriente el definido en la tabla 4.6.2.1 de esta Recomendación para nivel de las aguas coincidente con el nivel medio del mar. En otros casos puede adoptarse con carácter general como perfil de la velocidad de la corriente:</p> $V_C(z) = V_{C,\text{superficie}(z=h)} \left(\frac{z}{h}\right)^{\frac{1}{7}}$																
L	: Eslora total del buque. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo.																

- Resultante horizontal de las fuerzas hidrodinámicas de repulsión sobre el buque amarrado causadas por fuertes corrientes longitudinales

Un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija situada en las proximidades de la orilla en una zona en la que actúen fuertes corrientes longitudinales ($\alpha = 0^\circ$ ó 180°) puede estar sometido, adicionalmente a las fuerzas de presión y fricción debidas a la acción de la corriente analizadas en el apartado anterior; a fuerzas hidrodinámicas oscilatorias de baja frecuencia causadas por las alteraciones que se producen en la distribución de las velocidades del flujo de corriente alrededor del buque amarrado por:

Tabla 4.6.4.61. Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de fricción debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija

$F_{Cfricción,L}(\alpha) = \frac{\rho_w}{2} \cdot V_{C,t}^2 \cdot C_{fC} \cdot A_{fC,L} \cdot \cos^2(\alpha)$ $F_{Cfricción,T}(\alpha) = \frac{\rho_w}{2} \cdot V_{C,t}^2 \cdot C_{fC} \cdot A_{fC,T} \cdot \sin^2(\alpha)$	
$\phi(\alpha) = \arctg[A_{fC,T}/A_{fC,L} \cdot \tan^2(\alpha)]$	
Siendo:	
$R_{Cfricción}(\alpha)$: Fuerza total de arrastre resultante de las fuerzas de fricción debidas a la acción de una corriente de dirección α , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado. (kN)
$\phi(\alpha)$: Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de fricción debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque amarrado.
$F_{Cfricción,L}(\alpha)$: Componente en sentido longitudinal del buque de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de fricción debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)
$F_{Cfricción,T}(\alpha)$: Componente en sentido transversal del buque de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de fricción debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)
$A_{fC,L}$: Área de la superficie mojada del buque en la dirección del plano de crujía, en la situación de carga considerada. (m ²). A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, este área podrá aproximarse mediante la formulación siguiente:
$A_{fC,L} = (B + 2D) \cdot L_{pp}$	
Siendo:	
L_{pp}	: eslora entre perpendiculares del buque. (m)
B	: Manga del buque. (m)
D	: Calado del buque en la situación de carga considerada. (m)
Para buques plena carga pueden utilizarse como valores nominales de estos parámetros los valores incluidos en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo. Para buques con desplazamiento en lastre o cargados parcialmente, D podrá estimarse a partir de los valores de L_{pp} y B correspondientes a los mismos buques a plena carga por medio de la tabla 4.6.4.33, suponiendo que el coeficiente de bloque varía con la situación de carga de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.32. B).	
$A_{fC,T}$: Área de la superficie mojada del buque en la dirección perpendicular al plano de crujía, en la situación de carga considerada. (m ²). A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, esta área podrá aproximarse mediante la formulación siguiente:
$A_{fC,T} = (L_{pp} + 2D) \cdot B$	
C_{fC}	: Los valores nominales de éstos parámetros podrán estimarse de acuerdo con lo señalado a estos efectos para $A_{fC,L}$. Coeficiente adimensional de rozamiento para la corriente. Este coeficiente es función principalmente del número de Reynolds (Re) y de la rugosidad superficial, pudiendo aproximarse por medio de la siguiente relación para buques en servicio (considerando cierta rugosidad superficial en su casco):
$C_{fC} = \frac{0,075}{(\log_{10} Re - 2)^2}$	
ρ_w y $V_{C,t}$: Los números de Reynolds para buques sometidos a la acción de corrientes de marea en áreas portuarias ($Re = V_C \cdot L_{pp} \cdot \cos \alpha / \nu$) suelen corresponder a la zona de régimen turbulento ($Re \geq 5 \cdot 10^5$), por lo que el valor de este coeficiente suele estar en el rango entre 0,001 y 0,01. tienen el mismo significado y los mismos criterios de determinación que los establecidos para dichos parámetros en la tabla 4.6.4.60.

- El aumento de velocidades en el lado del buque contrario al que está amarrado por la reducción en el área de circulación de dicho flujo por la presencia de la obra de atraque y del propio buque amarrado, si el puesto de atraque está situado en una zona muy canalizada y estrecha (ría, estuario, canal de navegación...).
- La disminución de las velocidades en el lado en el que está el buque amarrado por los obstáculos a la circulación del flujo que se presentan entre el buque y la obra de atraque.

Las fuerzas hidrodinámicas causadas por el primero de dichos supuestos podrán desprejarse a estos efectos cuando el área canalizada en la que está emplazada la instalación de atraque tenga una anchura mayor que la mínima recomendada para las vías de navegación en el Capítulo 8 de la ROM 3.1-99 para el buque considerado, incluyendo los resguardos para evitar la presencia de los fenómenos de succión y rechazo debido a las orillas.

En el caso de las fuerzas hidrodinámicas causadas por el segundo supuesto este efecto se manifiesta fundamentalmente por la generación de un gradiente hidráulico entre ambos costados del buque, así como por la formación de remolinos en los puntos de despegue de la estela generada por la interposición del buque al flujo incidente (Ver tabla 4.6.4.62).

La componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas hidrodinámicas debidas a este último efecto puede considerarse formada por una componente en el sentido transversal del buque, una componente en el sentido longitudinal y por un momento de eje vertical, aplicados en el centro de gravedad del buque. No obstante, las componentes cuasi-estáticas de la fuerza longitudinal y del momento no son significativas, pudiendo considerarse que la componente cuasi-estática de la fuerza resultante debida a este efecto es fundamentalmente una fuerza horizontal de repulsión aplicada en el centro de gravedad del buque y de sentido contrario a la obra de atraque ($F_{C \text{ repulsión}, T}$).

La magnitud de esta fuerza de arrastre para una determinada velocidad de la corriente depende de muchos parámetros, especialmente de las dimensiones y situación de carga del buque, de la anchura de la zona canalizada en la que se encuentra la instalación de atraque, de la separación del buque amarrado de la línea de atraque, del resguardo bajo quilla y de la configuración y tipología estructural de la obra de atraque (cerrada o abierta y, en este último caso, de pilotes, de pilas, ...), no estando aún la formulación analítica para su cuantificación completamente validada y generalizada para diferentes valores de dichos parámetros. No obstante lo anterior, para corrientes longitudinales cuya velocidad V_C , definida según lo dispuesto en la tabla 4.6.4.60, sea menor o igual que 2 m/s, es admisible determinar esta fuerza mediante la formulación consignada en la tabla 4.6.4.62, basada en la hipótesis de que la fuerza horizontal de repulsión puede considerarse equivalente al empuje hidrostático diferencial que actúa sobre el costado del buque debido al gradiente hidráulico generado entre ambos costados del mismo por las corrientes longitudinales.

Cuando la velocidad de la corriente longitudinal V_C , sea mayor que 2 m/s el comportamiento dinámico del sistema buque/sistema de amarre/defensas debido a este efecto puede ser relevante al estar próximo el periodo de las fuerzas hidrodinámicas generadas del periodo de oscilación de los movimientos horizontales del buque amarrado, por lo que el tratamiento cuasi-estático descrito en este apartado, independientemente de la formulación considerada, no es aplicable, debiendo utilizarse modelos numéricos o experimentales.

■ Resultante horizontal de la acción del oleaje sobre el buque amarrado

La resultante de la acción del oleaje sobre un buque amarrado puede obtenerse analíticamente de acuerdo con lo señalado en esta Recomendación para la obtención de la acción del oleaje sobre obras flotantes (Ver apartado 4.6.2.1.1. d₃). De acuerdo con este aparta-

Tabla 4.6.4.62. Resultante horizontal de las fuerzas hidrodinámicas de repulsión sobre el buque amarrado lateralmente o de costado, causadas por fuertes corrientes longitudinales

$h_r = C_{rc} \frac{V_{c,t}^2}{2g}$	
$F_{Crepulsión,T} = \rho_w \cdot g \cdot h_r \cdot A_{C,L} = \rho_w \cdot g \cdot \left[C_{rc} \cdot \frac{V_{C,t}^2}{2g} \right] \cdot A_{C,L} = \frac{\rho_w \cdot C_{rc}}{2} \cdot V_{C,t}^2 \cdot A_{C,L}$	
Siendo:	
$F_{Crepulsión, T}$: Fuerza horizontal hidrodinámica de repulsión en sentido transversal del buque, debida al gradiente hidráulico generado entre ambos costados de un buque amarrado cuando actúan sobre el mismo fuertes corrientes longitudinales. Dicha fuerza se encuentra aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)
h_r	: Desnivel de agua equivalente al gradiente hidráulico generado entre ambos costados del buque amarrado por las corrientes longitudinales. (m)
$h_r = C_{rc} \cdot \frac{V_{C,t}^2}{2g}$	
$A_{C,L}$: Área sumergida de la proyección del buque sobre un plano vertical que contenga a su eje longitudinal, en la situación de carga considerada. (m ²). Los criterios para su determinación están incluidos en la tabla 4.6.4.60.
C_{rc}	: Coeficiente adimensional de repulsión. Este coeficiente es altamente variable en función de la velocidad de la corriente, de las dimensiones y situación de carga del buque, de la anchura de la zona canalizada en la que se encuentra la instalación de atraque, de la separación del buque amarrado de la línea de atraque, del resguardo bajo quilla y de la configuración y tipología estructural de la obra de atraque, habiéndose observado en áreas restringidas con relaciones $h/D > 1,3$ valores en el rango 0,1-0,7. A falta de una determinación más precisa de este coeficiente para las condiciones locales por medio de ensayos en modelo físico o de datos más detallados correspondiente al buque considerado en condiciones similares a las locales, procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, podrá adoptarse con carácter general el valor 0,7 siempre que h/D sea mayor o igual que 1,3 y que la anchura de la zona canalizada sea mayor que la mínima recomendada para las vías de navegación en el Capítulo 8 de la ROM 3.1-99 para el buque considerado, incluyendo los resguardos para evitar la presencia de los fenómenos de rechazo y succión de las orillas.
ρ_w y $V_{C,t}$: tienen el mismo significado y los mismos criterios de determinación que los establecidos para dichos parámetros en la tabla 4.6.4.60.

do, la resultante de la acción del oleaje está formada por una fuerza de naturaleza lineal y carácter oscilatorio, de periodo similar al del oleaje actuante, y por una fuerza básicamente horizontal de naturaleza no lineal, con periodo en el rango entre 20 y 100 s y dirección la de propagación del oleaje, denominada fuerza de deriva. La importancia de una u otra componente es función principalmente de la rigidez del sistema de amarre.

En general, en los modelos analíticos tradicionales se considera simplificada que la fuerza más significativa debida al oleaje para el cálculo de las cargas de amarre es la fuerza de deriva al considerarse como la principal causante de los movimientos horizontales del buque, principalmente sobre los cuales son eficaces los sistemas de amarre. En cualquier caso estos modelos no permiten aproximar con fiabilidad las cargas verticales que se producen sobre las defensas al ser función de los movimientos verticales del buque, dependientes principalmente de la componente lineal de la acción del oleaje sobre el buque, y de la capacidad de la defensa de reducción de dichos movimientos por rozamiento. Por dicha razones, así como por ser los periodos de la fuerza de deriva del mismo orden de magnitud que los de los movimientos horizontales del buque amarrado, conjuntamente con su reducida capacidad de amortiguamiento en el rango de las bajas frecuencias, lo que puede dar lugar a importantes efectos dinámicos en este rango de frecuencias, la fiabilidad de considerar esta formulación para la determinación de las cargas de amarre es muy limitada, por lo que no es recomendable tratar la respuesta del sistema de amarre frente a la actuación de oleajes significativos en términos de análisis estático; es decir cuando las condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque sean Tipos II y III.

La componente cuasi-estática de la fuerza de deriva debida a la acción del oleaje sobre un buque amarrado lateralmente o de costado (R_W) puede aproximarse por las siguientes componentes aplicadas en el centro de gravedad del buque (Ver nota 27):

- Una componente en sentido longitudinal del buque ($F_{W,L}$).
- Un componente en sentido transversal del buque ($F_{W,T}$).

Esta fuerza de arrastre y sus componentes podrán obtenerse mediante la formulación consignada en la tabla 4.6.4.63.

Tabla 4.6.4.63. Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del oleaje sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija

<p>El diagrama muestra un buque con una línea de eje longitudinal horizontal. Una fuerza H_s actúa desde el cuadrante superior izquierdo, formando un ángulo α con el eje longitudinal. El centro de gravedad del buque está etiquetado como 'CG'. Desde el CG, se muestran tres vectores de fuerza: $F_{W,L}$ actuando horizontalmente hacia la derecha, $F_{W,T}$ actuando verticalmente hacia abajo, y R_W actuando diagonalmente hacia abajo y a la derecha.</p>
$R_W(\alpha) = \gamma_w \cdot C_{f,w} \cdot C_{d,w} \cdot H_s^2 \cdot L_{proj \alpha}$

Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del oleaje sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija (continuación)

$F_{W,L}(\alpha) = R_W(\alpha) \cdot \cos\alpha$
 $F_{W,T}(\alpha) = R_W(\alpha) \cdot \operatorname{sen}\alpha$

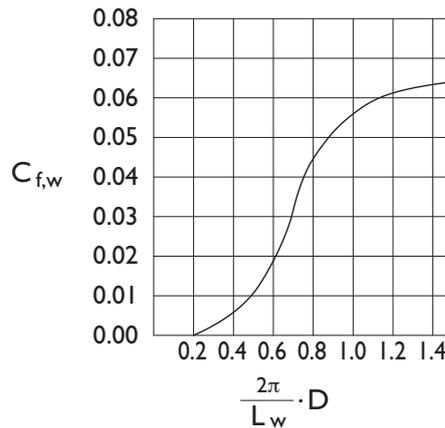
Siendo:

- $R_W(\alpha)$: Fuerza total de arrastre resultante de la acción de un oleaje incidente con dirección de propagación α , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado. (kN)
- $F_{W,L}(\alpha)$: Componente en sentido longitudinal del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un oleaje incidente con dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)
- $F_{W,T}(\alpha)$: Componente en sentido transversal del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un oleaje incidente con dirección de propagación α , aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)
- γ_w : Peso específico del agua. Podrán tomarse como valores nominales de este parámetro los definidos en el apartado 4.5 de esta Recomendación en función del emplazamiento en que se encuentre ubicada la obra de atraque y amarre. (kN/m³).
- H_s : Altura de ola significativa correspondiente al oleaje incidente en el emplazamiento. (m)
- $L_{proy\alpha}$: Longitud de la proyección del buque en la dirección del oleaje incidente. (m). A falta de valores conocidos podrá aproximarse mediante la expresión siguiente:

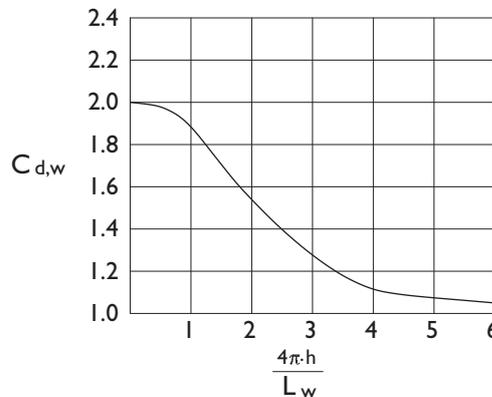
$$L_{proy\alpha} = L_{pp} \cdot \operatorname{sen}\alpha + B \cdot \cos\alpha$$

Siendo:

- L_{pp} : Eslora entre perpendiculares del buque. (m)
- B : Manga del buque. (m)
- $C_{f,w}$: Coeficiente de flotación (adimensional). Este coeficiente depende de la longitud de onda (L_w) a la profundidad del emplazamiento asociada al periodo medio (Ver tabla 4.6.2.9) y del calado del buque (D). Su valor es creciente con el calado del buque y decreciente con la longitud de onda en el rango entre 0,0 y 0,07. La variación detallada de este coeficiente en función de los factores de los que depende puede obtenerse a partir de la siguiente figura:



- $C_{d,w}$: Coeficiente de profundidad relativa (adimensional). Este coeficiente es función de la profundidad relativa en el emplazamiento (h/L_w). Su valor es decreciente con el aumento de la profundidad relativa, en el rango entre 1,0-2,0. La variación detallada de dicho coeficiente en función de la profundidad relativa puede obtenerse a partir de la figura siguiente:



■ *Resultante de la acción de ondas largas sobre el buque amarrado*

Los modelos analíticos tradicionales no han desarrollado ninguna formulación fiable específica de carácter general que permita aproximar una componente cuasi-estacionaria resultante de la acción de ondas largas de cualquier tipo (onda larga asociada al oleaje, grupos de olas, maremotos,...), así como de la presencia de ondas estacionarias en una dársena causadas por fenómenos de resonancia, sobre el buque amarrado, debido a la gran importancia de los efectos dinámicos causados por la presencia de este tipo de oscilaciones al ser el periodo de las mismas en muchos casos del mismo orden de magnitud que los periodos de oscilación de los movimientos horizontales del buque amarrado y a las bajas posibilidades de amortiguamiento del buque en este rango de frecuencias. No obstante lo anterior, en aquellos casos en que quede garantizado que no se producen fenómenos de resonancia tanto en el conjunto buque/sistema de amarre y defensas/estructura de atraque como en la dársena, la resultante de la acción de ondas largas sobre el buque amarrado podrá aproximarse mediante la formulación incluida en esta Recomendación para la acción de la corriente, considerando las componentes horizontales del campo de velocidades asociados a la onda larga (Ver apartado 4.7.2 de la ROM 1.0-09).

Cuando puedan presentarse en el emplazamiento respuestas resonantes bien en la dársena bien en conjunto buque/sistema de amarre y defensas/estructura de atraque por ser sus periodos naturales de oscilación similares a los de la onda larga actuante, la respuesta del sistema de amarre no es susceptible de ser tratada en términos de análisis estático, debiendo irse a estudios en modelos numéricos o experimentales que permitan obtener los movimientos del buque y las fuerzas en líneas de amarre y defensas. En estos casos, dados los movimientos de gran amplitud, tanto verticales como horizontales, que pueden presentarse en el buque amarrado debido a estas acciones, así como la magnitud de las cargas de amarre generadas en líneas de amarre y defensas, la actuación ante este tipo de fenómeno no está tanto en la cuantificación de los esfuerzos generados sino especialmente en su previsión y prevención mediante una adecuada configuración del sistema de amarre, con objeto de llevar los periodos naturales de oscilación de los movimientos más críticos lo más lejos posible de los periodos correspondientes a las acciones de este tipo actuantes (Ver apartado 4.6.4.4.7.1.1. a. Características de las líneas de amarre). Asimismo deberá comprobarse que las dársenas y demás áreas en las que se localicen obras de amarre no puedan entrar en resonancia, debiéndose evitar en el caso de que se produzca mediante los adecuados dispositivos y configuraciones (Ver apartado 3.9.5 de la ROM 1.0-09). Cuando puedan presentarse este tipo de acciones y se considere la permanencia del buque en el atraque en estas condiciones climáticas (condiciones Tipo III), el reglamento de explotación de la instalación deberán prever las configuraciones y características del sistema de amarre asociadas a estos estados climáticos.

■ *Resultante de la acción de niveles de agua asociados a mareas y regímenes fluviales sobre el buque amarrado*

En sí mismo, los niveles de agua asociados a mareas y regímenes fluviales no ejercen fuerzas directas sobre el buque, aunque tienen una incidencia directa en la valoración de otras fuerzas, como las debidas a las corrientes, al oleaje o a los efectos hidrodinámicos inducidos por el paso de buques en tránsito, al ser función del resguardo bajo quilla o de la profundidad. Asimismo, las variaciones de los niveles de aguas exteriores pueden dar lugar a modificaciones de los agentes actuantes en el emplazamiento. Por tanto, para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas deberá tomarse en consideración la incidencia de los valores representativos de los niveles alto y bajo de las aguas exteriores en cada condición de trabajo para la definición de los valores representativos compatibles tanto de los agentes actuantes en un estado meteorológico y operativo como de las fuerzas generadas cuando sean dependientes del nivel de las aguas exteriores. Para formulaciones probabilistas deberá considerarse la función de distribución de los niveles bajo y alto de las aguas exteriores en la condición de trabajo considerada.

Adicionalmente, modificaciones de la altura relativa entre buque y puntos de amarre puede inducir variaciones en las cargas de amarre en magnitud, orientación y punto de aplicación al modificarse la orientación y la efectividad de las líneas de amarre, así como la posición del buque con respecto a las defensas, y, por tanto, la respuesta del sistema de amarre frente al resto de cargas actuantes sobre el buque amarrado. Asimismo, la variación de los niveles de agua puede dar lugar a fuerzas de fricción en las defensas al desplazarse el buque verticalmente. Los modelos analíticos tradicionales para la determinación de las cargas de amarre no toman en consideración estas fuerzas de fricción ya que se fundamentan en el equilibrio estático de las componentes horizontales de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque y las fuerzas restauradoras y, en general, los coeficientes de fricción vertical entre el casco del buque y la defensa son pequeños. Lo anterior se establece sin perjuicio de su evaluación por otros métodos y su toma en consideración cuando pueda ser relevante para el dimensionamiento del elemento considerado.

Los efectos de las variaciones del nivel de las aguas exteriores en las cargas de amarre deberán ser estudiados para cada situación particular considerando, salvo que el Promotor de la instalación señale lo contrario, que las líneas de amarre se mantienen tensionadas en toda situación de permanencia del buque en el atraque, así como que el buque se encuentra firme contra el sistema de defensas en estas situaciones. A estos efectos, los criterios y condiciones de explotación de la instalación deberán imponer, bien mediante dispositivos de tensión cuando estén disponibles o bien manualmente, la corrección del sistema de amarre en ese sentido para irse adecuando al nivel existente de las aguas exteriores en cada momento, con el objeto de que no se puedan producir alteraciones en las características y configuración del mismo.

■ *Resultante de la acción del hielo sobre el buque amarrado*

Los efectos del hielo sobre el buque amarrado serán raramente considerados en la valoración de las cargas de amarre, excepto en zonas geográficas con fuertes heladas. Sin perjuicio de otros efectos debidos al hielo que pueden tener incidencia sobre las cargas de amarre (presiones por congelamiento de la masa de agua entre buque y estructura de atraque, impacto de bloques de hielo a la deriva, ...) la acción del hielo sobre el buque amarrado es especialmente significativa cuando se presenten en el emplazamiento corrientes significativas o viento en la dirección longitudinal del buque amarrado. En esta situación puede producirse un importante incremento de las fuerzas longitudinales sobre el buque debido al impacto de bloques de hielo así como a la fricción del hielo atrapado entre buque y obra de atraque causada por el efecto de la acumulación en esa zona del flujo de hielo por la acción de la corriente o el viento.

Los modelos analíticos tradicionales no han desarrollado ninguna formulación fiable que permita aproximar la resultante de la acción del hielo sobre un buque amarrado. Por tanto, cuando se considere relevante en el emplazamiento la acción del hielo, las cargas de amarre debidas a este agente deberán obtenerse mediante modelos numéricos o experimentales.

En las aguas litorales españolas no se considerará la acción del hielo para la determinación de las cargas de amarre.

■ *Resultante horizontal de los efectos hidrodinámicos inducidos por el paso de un buque navegando en las proximidades del buque amarrado*

El paso de un buque navegando en las proximidades de otro buque amarrado genera fuerzas horizontales de succión y rechazo entre el buque en tránsito y el amarrado causadas principalmente por las asimetrías del flujo de agua que se producen alrededor del casco del buque en tránsito y, por tanto, por la alteración de las presiones sobre el casco de ambos buques, así como otras fuerzas sobre el buque amarrado causadas por las corrien-

tes de retorno y las ondas generadas por el buque en tránsito (Ver apartado 4.6.4.4.2. Efectos hidrodinámicos inducidos por los buques en tránsito y apartados 4.7 y 4.8.6. de la ROM 3.1-99). No obstante, es el primero de estos efectos el que suele ser más relevante para las cargas de amarre, salvo cuando se presenten velocidades de tránsito excesivas y la obra de atraque y amarre esté situada muy próxima a la vía de navegación de los buques en tránsito, en cuyo caso las ondas generadas por el buque en tránsito pueden tener una incidencia significativa en la generación de movimientos en el buque amarrado, tanto horizontales como verticales, así como en las cargas de amarre. Estas fuerzas pueden llegar a ser muy importantes y en algunos casos críticas para la configuración adecuada y el dimensionamiento del sistema de amarre, pudiendo generar incrementos muy significativos de las cargas de amarre y de los movimientos de los buques, por lo que es conveniente evitar que las mismas sean relevantes en el emplazamiento, limitando las velocidades de los buques en tránsito en las condiciones de explotación de la instalación y maximizando la separación entre las vías de navegación y los buques amarrados, así como en caso extremo dotando de abrigo al puesto de atraque.

La resultante horizontal sobre el buque amarrado producida por las ondas generadas por buques en tránsito puede aproximarse por medio de la aplicación de la formulación desarrollada para la resultante horizontal de la acción del oleaje sobre el buque amarrado, asimilando este tipo de oscilaciones a un oleaje de viento de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.4.4.2.1.

La resultante horizontal sobre el buque amarrado debida a los efectos hidrodinámicos de succión y rechazo inducidos por el paso de buques en tránsito es una fuerza variable de carácter oscilatorio que puede tener componentes con valores energéticos significativos en el rango de las bajas frecuencias, cuyas variables básicas (amplitud y periodo) y de estado dependen de un gran número de factores, entre los que se encuentran el tamaño relativo de los dos buques, la trayectoria del buque en tránsito respecto al buque amarrado, la separación entre buques, la situación de carga de ambos, la velocidad relativa del buque en tránsito respecto a la corriente, los resguardos bajo quilla en relación con la profundidad del agua y las dimensiones y condiciones de contorno de la dársena o del área de flotación en el emplazamiento, así como las características del sistema de amarre. En general, dicha fuerza es decreciente al aumentar la eslora relativa del buque amarrado respecto a la del buque en tránsito ($L_{\text{buque amarrado}} / L_{\text{buque en tránsito}}$) y la distancia de separación entre buques y creciente al aumentar la velocidad relativa del buque en tránsito respecto a la corriente. La incidencia de los resguardos de quilla relativos disminuye con la profundidad del agua, anulándose prácticamente cuando ésta es mayor que la distancia entre los buques medida desde el centro de gravedad del buque.

Dicha resultante horizontal puede considerarse formada por las siguientes componentes aplicadas en el centro de gravedad del buque (Ver nota 15):

- Una componente en el sentido longitudinal del buque ($F_{P,L}$).
- Una componente en el sentido transversal del buque ($F_{P,T}$)
- Un momento de eje vertical ($M_{CG,P}$)

Sobre la base de análisis teóricos y de registros experimentales y en prototipo efectuados, puede considerarse que la evolución de dichas componentes en relación con la posición del buque en tránsito respecto al buque amarrado tiene la forma que se recoge en la tabla 4.6.4.64. Como puede observarse en dicha figura, el valor máximo de la componente transversal suele producirse cuando ambos buques se encuentran aproximadamente parejos, siendo los valores de la componente longitudinal y del momento nulos en esa posición. Asimismo, el valor máximo de la componente longitudinal y del momento se produce cuando la proa del buque en tránsito alcanza las proximidades del centro de gravedad del buque. En esa posición la componente transversal es aproximadamente nula.

Se han desarrollado formulaciones que permiten establecer aproximaciones de los valores de las variables de estado que definen cada una de estas componentes (en particular los valores de pico) en función de los distintos factores de los que depende. Una de estas formulaciones se incluye en la tabla 4.6.4.64 para trayectorias del buque en tránsito paralelas al eje longitudinal del buque amarrado y dársenas no confinadas. No obstante la fiabilidad de las mismas no está totalmente consolidada al no poder precisarse su rango de validez. Por dicha razón y además dado que los periodos de las mismas pueden ser del mismo orden de magnitud que los de los movimientos horizontales del buque amarrado y dar lugar a la amplificación dinámica de los mismos, cuando sean relevantes en el emplazamiento los efectos hidrodinámicos inducidos por los buques en tránsito no es recomendable la aplicación de modelos analíticos que se basen en la simplificación estática de la naturaleza dinámica del sistema mediante la utilización de los valores de pico de dichas componentes sino únicamente para una primera aproximación al problema, siendo preferible la utilización de métodos numéricos o experimentales para la determinación de las cargas de amarre y los movimientos de los buques.

Como regla general, en aquéllos casos en que las ondas generadas por los buques en tránsito no sean relevantes en el puesto de amarre, es decir, para condiciones Tipo I de permanencia del buque en el atraque en lo que se refiere a ondas generadas por buques en tránsito (Ver tabla 4.6.4.49) no será necesario tomar en consideración las fuerzas producidas por el paso de buques en tránsito sobre el buque amarrado cuando la distancia de separación entre el eje de la vía de navegación del buque en tránsito y el buque amarrado sea superior a la dimensión equivalente recomendada para las vías de navegación en el Capítulo 8 de la ROM 3.1-99 para los buques considerados, incluyendo los resguardos para evitar la presencia de los fenómenos de succión y rechazo de los márgenes. En aquellos casos en los que por la separación entre la vía de navegación para los buques en tránsito y el buque amarrado no sean relevantes los efectos de succión y rechazo pero si lo sean las ondas generadas por el buque en tránsito, para la determinación de la resultante de dicho agente sobre el buque amarrado será de aplicación lo señalado en esta Recomendación a estos efectos para la acción del oleaje.

- *Resultante debido a las corrientes generadas por los equipos de propulsión, así como fuerzas inducidas sobre el buque por los remolcadores que formen parte de la configuración del sistema de amarre*

Cuando la configuración y características del sistema de amarre en una condición de trabajo (p.e. en condiciones de trabajo excepcionales) incluya el auxilio de remolcadores trabajando sobre cabo corto, apoyado o abarloado, las corrientes generadas por los equipos de propulsión de los remolcadores, así como, el tiro o los empujes generados sobre el buque, pueden dar lugar a fuerzas adicionales sobre el buque amarrado (Ver apartado 4.6.4.4.5).

Difícilmente puede generalizarse una formulación analítica que valore estos efectos, dependientes de las características geométricas del buque, de las condiciones de trabajo en la que se considera la actuación de remolcadores, del tipo y características de los mismos y del número y posición que ocupan respecto al buque amarrado. A partir de conclusiones obtenidas de resultados experimentales de muy difícil generalización, es admisible considerar que estas fuerzas pueden valorarse simplifícadamente incrementando hasta un 20% la resultante horizontal total de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado.

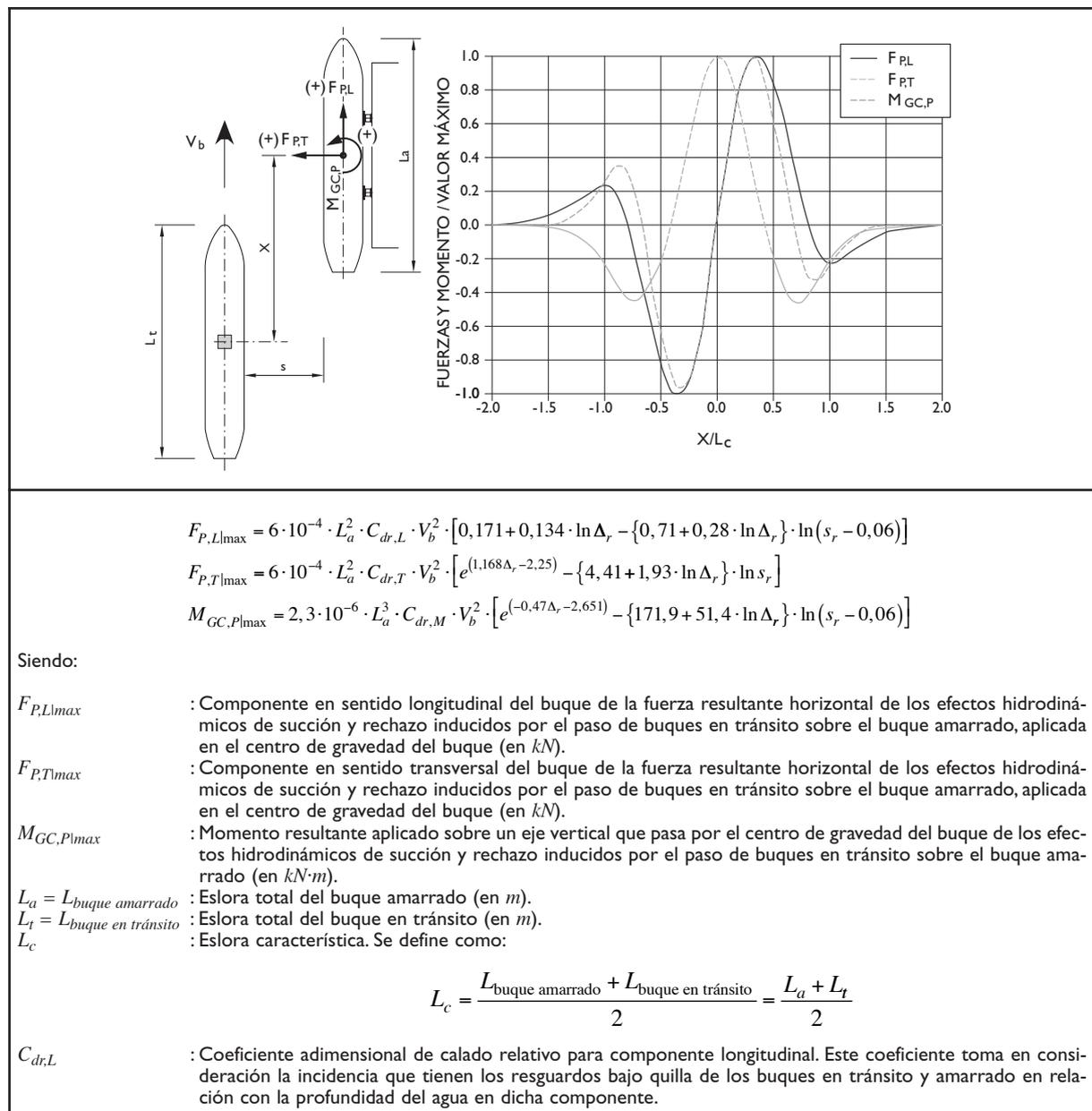
- *Resultantes debido a cambios en los parámetros geométricos del buque, a asientos y a escoras causados por las modificaciones en las condiciones de carga del buque*

Los procesos de carga y descarga pueden dar lugar a fuertes variaciones en el calado de los buques, así como a asientos y escoras apreciables, produciendo modificaciones en los parámetros geométricos del buque que dan lugar a cambios en las fuerzas resultantes de

la actuación de los distintos agentes sobre el buque amarrado para un mismo estado meteorológico u operativo.

Asimismo, estas modificaciones geométricas dan lugar a cambios de la altura relativa entre buque y puntos de amarre, así como a alteraciones en la simetría del sistema de amarre, que pueden inducir variaciones en las cargas de amarre en magnitud, orientación y punto de aplicación al modificarse la orientación y la efectividad de las líneas de amarre, así como la posición del buque con respecto a las defensas, y aumentar la posibilidad de que se produzcan acoplamientos entre los distintos movimientos del buque, alterándose, por tanto, la respuesta del sistema de amarre frente a las cargas actuantes.

Tabla 4.6.4.64. Evolución tipo de las componentes de la resultante horizontal sobre el buque amarrado debida a los efectos hidrodinámicos de succión y rechazo inducidos por el paso de buques en tránsito y formulación para estimar el valor de pico de las componentes de dicha resultante ¹⁾



Evolución tipo de las componentes de la resultante horizontal sobre el buque amarrado debida a los efectos hidrodinámicos de succión y rechazo inducidos por el paso de buques en tránsito y formulación para estimar el valor de pico de las componentes de dicha resultante¹⁾ (continuación)

Se define como:

$$C_{dr,L} = e^{\left(0,9955-0,6367 \cdot \frac{\text{resguardo bajo quilla en la situación de carga considerada}}{\text{profundidad de agua}}\right)} = e^{\left(0,0955-0,6367 \cdot \frac{h_a-D}{h_a}\right)},$$

adoptándose los parámetros correspondientes al buque que tenga mayor calado en la situación de carga considerada, comparándolo entre el buque amarrado y el buque en tránsito.

$C_{dr,T}$: Coeficiente adimensional de profundidad relativa para componente transversal. Este coeficiente toma en consideración la incidencia que tienen los resguardos bajo quilla de los buques en tránsito y amarrado en relación con la profundidad del agua en dicha componente.

Se define como:

$$C_{dr,T} = e^{\left(0,5157-3,438 \cdot \frac{\text{resguardo bajo quilla en la situación de carga considerada}}{\text{profundidad de agua}}\right)} = e^{\left(0,5157-3,438 \cdot \frac{h_a-D}{h_a}\right)},$$

adoptándose los parámetros correspondientes al buque que tenga mayor calado en la situación de carga considerada, comparándolo entre el buque amarrado y el buque en tránsito.

$C_{dr,M}$: Coeficiente adimensional de profundidad relativa para el momento. Este coeficiente toma en consideración la incidencia que tienen los resguardos bajo quilla de los buques en tránsito y amarrado en relación con la profundidad del agua en dicho momento.

Se define como:

$$C_{dr,M} = e^{\left(0,343-2,288 \cdot \frac{\text{resguardo bajo quilla en la situación de carga considerada}}{\text{profundidad de agua}}\right)} = e^{\left(0,343-2,288 \cdot \frac{h_a-D}{h_a}\right)},$$

adoptándose los parámetros correspondientes al buque que tenga mayor calado en la situación de carga considerada, comparándolo entre el buque amarrado y el buque en tránsito.

V_b : Velocidad relativa del buque en tránsito respecto del agua (en m/s)

Se define como:

$V_b = V_{b,absoluta} - V_{C,r}$ siendo $V_{b,absoluta}$ la velocidad absoluta del buque en tránsito y $V_{C,r}$ la velocidad de la corriente según la definición de la tabla 4.6.4.60.

A falta de datos más precisos suministrados por el Promotor, los valores usuales de V_b se recogen en el apartado 4.6.4.4.2.1 de esta Recomendación, así como en el apartado 7.2.3.4 de la ROM 3.1-99).

Δ_r : Desplazamiento relativo del buque en tránsito respecto al buque amarrado.

Se define como:

$$\Delta_r = \frac{\Delta_{\text{buque en tránsito}}}{\Delta_{\text{buque amarrado}}}$$

s_r : Separación entre buques relativa.

Se define como:

$$s_r = \frac{s}{L_c},$$

siendo s , la separación horizontal entre el buque en tránsito y el amarrado, y L_c , la eslora característica definida en esta tabla.

A falta de datos más precisos correspondientes a los buques considerados, para buques a plena carga puede utilizarse como valor nominal de los parámetros geométricos del buque incluidos en la formulación los valores incluidos en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo. Asimismo, los valores nominales de los parámetros geométricos de los buques en situación de lastre o cargados parcialmente podrán obtenerse de la misma tabla, suponiendo que el coeficiente de bloque varía con la situación de carga de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.32. B).

Notas

1) Formulación de Flory, (2001).

Estos efectos se superponen, en su caso, a los producidos por las variaciones de los niveles de agua asociados a mareas y regímenes fluviales, considerándose para la determinación de las cargas de amarre mediante modelos analíticos idénticas hipótesis de cálculo y tratamiento que las definidas en esta Recomendación para dichas variaciones del nivel de las aguas (Ver epígrafe "Resultante de la acción de niveles de agua asociados a mareas y regímenes fluviales sobre el buque amarrado" de este apartado).

Los efectos debidos a los procesos de carga y descarga de los buques deberán ser estudiados para cada caso particular en función de los criterios de explotación establecidos por el Promotor de la instalación. En ausencia de criterios específicos se considerará que los buques pueden operar en todas las situaciones entre plena carga y lastre, salvo en el caso de astilleros o instalaciones específicas para gran reparación de buques en los que los buques operarán en situaciones entre lastre y rosca. También se considerará la posibilidad de que se produzcan sobrecargados adicionales en las situaciones de plena carga en proa o en popa por asientos causados por la distribución de carga con valores nominales entre $0,0025 L_{pp}$ y $0,0015 L_{pp}$ en función del tipo y tamaño de buque (Ver apartado 7.2.3. de la ROM 3.1-99).

*a*₁₂) B amarrado por proa a un único punto de amarre (amarradero de orientación libre)

La aplicación de modelos analíticos basados en la aproximación estática de la naturaleza dinámica del sistema no se considera de gran fiabilidad para la determinación de las cargas de amarre en este tipo de amarraderos de orientación libre, debido a que pueden presentarse en el sistema buque/estructura de amarre efectos dinámicos muy significativos al ser los periodos de oscilación de dicho sistema del mismo orden de magnitud que los de los agentes actuantes de corto periodo (ver tabla 4.6.4.55), independientemente que la estructura de amarre sea fija o flotante, así como a la fluctuación direccional de los propios agentes actuantes sobre el buque y a la inercia del mismo, que hacen que la posición del buque esté cambiando permanentemente según un movimiento oscilatorio alrededor del punto de amarre. Por dichas razones, en estos casos la determinación de las cargas de amarre mediante modelos analíticos se considerará únicamente una primera aproximación, siendo necesario su validación mediante la utilización de modelos numéricos o experimentales.

Uno de los métodos analíticos más simples se basa en la determinación de las componentes cuasi-estáticas de las fuerzas resultantes horizontales producidas por la actuación de los agentes climáticos y operacionales sobre un buque amarrado por proa a un amarradero fijo de orientación libre considerando también de aplicación a este caso lo establecido en el epígrafe *a*₁₁ de este apartado para buques amarrados lateralmente o de costado a una obra de atraque fija, pero tomando en consideración que en este tipo de amarraderos la posición horizontal relativa del buque respecto a la dirección de las fuerzas actuantes no es independiente de la magnitud y dirección de las mismas sino que depende de su resultante global, al orientarse el eje longitudinal del buque en función de la dirección de dicha resultante.

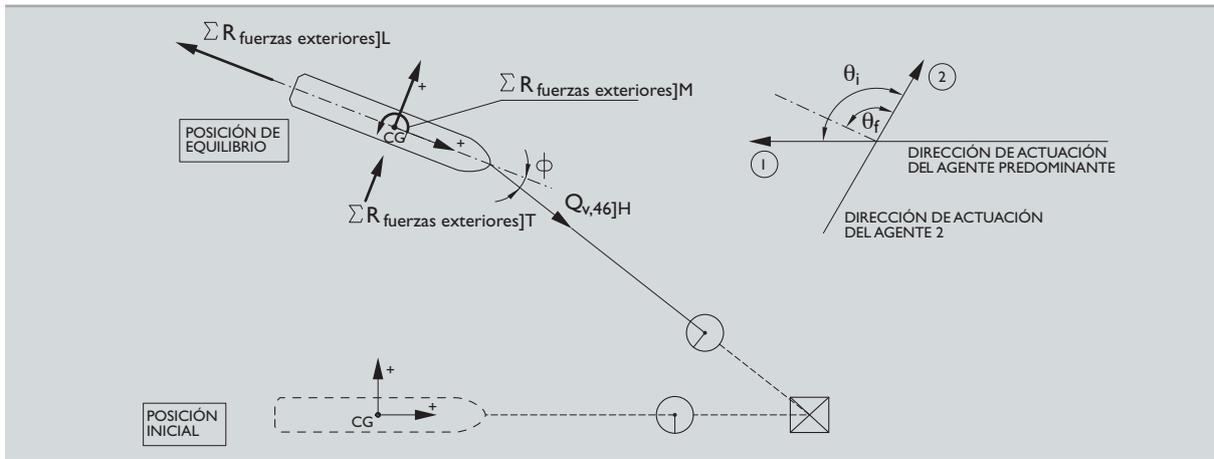
Por dicha razón, para cada conjunto de agentes actuantes sobre el buque amarrado, la determinación de las resultantes debidas a los mismos exige definir previamente la posición relativa teórica que adoptará el buque respecto a las direcciones de actuación de dichos agentes. Para ello podrá seguirse un procedimiento iterativo, a partir de una posición inicial supuesta, hasta encontrar el punto de equilibrio en que la resultante horizontal de las fuerzas actuantes sobre el buque y de la carga de amarre restauradora se equilibran (Ver figura 4.6.4.35). Es decir:

- $\Sigma R_{\text{fuerzas exteriores}}]L = Q_{v,46}LH$
- $\Sigma R_{\text{fuerzas exteriores}}]T = Q_{v,46}TH$
- $\Sigma R_{\text{fuerzas exteriores}}]M = Q_{v,46}TH \cdot [L_{pp}/2]$

Esto puede realizarse mediante el procedimiento siguiente:

- I. Adoptar para el buque una posición inicial. Como posición inicial puede adoptarse aquélla en la que el eje longitudinal del buque coincide con la dirección de actuación del agente que se considere predominante a los efectos del valor de la fuerza resultante sobre el buque (θ_i). En el caso de que no se pueda diferenciar cuál de los agentes actuante es claramente el predominante, se adoptará una posición intermedia, considerando la dirección

Figura 4.6.4.35. Esquema de cálculo para la determinación de las fuerzas resultantes sobre un buque amarrado a un amarradero fijo de orientación libre



del eje longitudinal del buque entre las direcciones de actuación de los agentes actuantes que se consideren significativos a estos efectos.

2. Determinar las fuerzas resultantes de la actuación de los agentes sobre el buque amarrado situado en la posición inicial adoptada.
3. Calcular la resultante de momentos, según la siguientes formulación:

$$\sum M_{CG} = \sum R_{fuerzas\ exteriores]M} - \sum R_{fuerzas\ exteriores]T} \cdot \frac{L_{pp}}{2}$$

4. Si $\sum M_{CG} \neq 0$ volver al paso 2, modificando la posición del buque en el sentido que favorezca la aproximación a $\sum M_{CG} = 0$. Para facilitar este proceso puede obtenerse el valor de $\sum M_{CG}$ situando el eje longitudinal del buque en la dirección de cada una de los agentes predominantes, con el objeto de determinar en cuál de dichas posiciones el momento resultante es positivo y en cuál es negativo. De acuerdo con estos datos, la modificación de la posición del eje longitudinal del buque se realizará hacia la dirección que permita compensar el exceso del momento resultante. El proceso se reiterará hasta que se cumpla $\sum M_{CG} = 0$.
5. Cuando se cumpla que $\sum M_{CG} = 0$ se considerará que se ha alcanzado el punto de equilibrio (θ_f), adoptándose un valor para la componente horizontal de la fuerza en la línea de amarra de:

$$Q_{v,46]H} = \sqrt{(\sum R_{fuerzas\ exteriores]L})^2 + (\sum R_{fuerzas\ exteriores]T})^2}$$

Siendo $\sum R_{L]agentes\ actuantes}$ y $\sum R_{T]agentes\ actuantes}$ las componentes longitudinal y transversal, respectivamente, de la resultante sobre el buque amarrado de los agentes exteriores y operacionales actuantes, considerando que el buque se encuentra en punto de equilibrio. Asimismo, el ángulo entre el eje longitudinal del buque y la línea de amarre (Φ) será:

$$\phi = \arctg \left[\frac{R_{fuerzas\ exteriores]T}}{R_{fuerzas\ exteriores]L}} \right]$$

a₁₂) Buque amarrado a un campo de boyas (amarradero con orientación fija)

- Sistema de amarre a dos boyas, una en proa y otra en popa

Por razones de eficiencia y seguridad, la utilización de este sistema de amarre está limitada a los casos en los que los agentes climáticos relevantes a los efectos de la resultante sobre el buque amarrado actúan en sentido sensiblemente longitudinal al mismo ($\sum R_{fuerzas\ exteriores]L} \gg \sum R_{fuerzas\ exteriores]T}$) como, por ejemplo, en el caso de ríos, estuarios y

zonas confinadas con marea significativa en las que la acción fundamental es una corriente unidireccional (Ver ROM 3.1-99). En caso contrario, sería necesario un desplazamiento transversal del buque significativo para equilibrar acciones transversales exteriores significativas con las cargas que se generan en las amarras, dando lugar a un estado muy inestable de la posición buque con oscilaciones muy importantes con relación a la posición teórica de equilibrio, no abordable mediante aproximaciones estáticas analíticas.

Para este sistema de amarre, las condiciones de operación correspondientes al estado límite de permanencia en el atraque estarán asociadas al cumplimiento de dicha condición.

Si se cumplen las condiciones señaladas puede considerarse simplificada a los efectos de determinación de la componente cuasi-estática de las resultantes horizontales de las fuerzas exteriores sobre el buque que la posición relativa del buque respecto a la dirección de las fuerzas actuantes se mantiene constante, reposicionándose únicamente a través de un desplazamiento transversal del buque.

Con estas hipótesis, para la determinación de las componentes cuasi-estáticas de las fuerzas resultantes horizontales producidas por la actuación de los agentes climáticos y operacionales sobre el buque amarrado mediante el citado sistema de amarre también será de aplicación lo establecido en el epígrafe a₁₁ de este apartado.

En el caso de que la disposición y características del sistema de amarre sean simétricos respecto al centro geométrico del buque y no se produzca el destensamiento de las líneas de amarre, los incrementos de las fuerzas en las amarras y el desplazamiento transversal del buque pueden obtenerse mediante la resolución del siguiente sistema de ecuaciones de equilibrio estático (Ver figura 4.6.4.36), que simplifica el procedimiento general establecido en este apartado:

$$\begin{aligned} \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L} + \Delta Q_{v,46]H,1} \cdot \cos \phi_1 - \Delta Q_{v,46]H,2} \cdot \cos \phi_2 &= 0 \\ \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} - \Delta Q_{v,46]H,1} \cdot \text{sen} \phi_1 - \Delta Q_{v,46]H,2} \cdot \text{sen} \phi_2 &= 0 \\ \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M} - \Delta Q_{v,46]H,1} \cdot \cos \phi_1 \cdot \frac{L_{pp}}{2} + \Delta Q_{v,46]H,2} \cdot \cos \phi_2 \cdot \frac{L_{pp}}{2} &= 0 \\ \delta_T = (l_0 + \Delta l_1) \cdot \text{sen} \phi_1 &= (l_0 + \Delta l_2) \cdot \text{sen} \phi_2 \end{aligned}$$

Siendo l_0 la proyección horizontal de la longitud de las amarras más el desplazamiento de la boya desde el punto de fondeo en la posición inicial, Δl_1 y Δl_2 las proyecciones horizontales del alargamiento (o acortamiento) de la mismas para el incremento de la fuerza de tracción respectivamente en proa y popa (Ver nota 24) y Φ_1 y Φ_2 los ángulos formados entre el eje longitudinal del buque y, respectivamente, la proyección horizontal de la línea de amarre de proa y popa, en la posición de equilibrio del buque para los agentes actuantes.

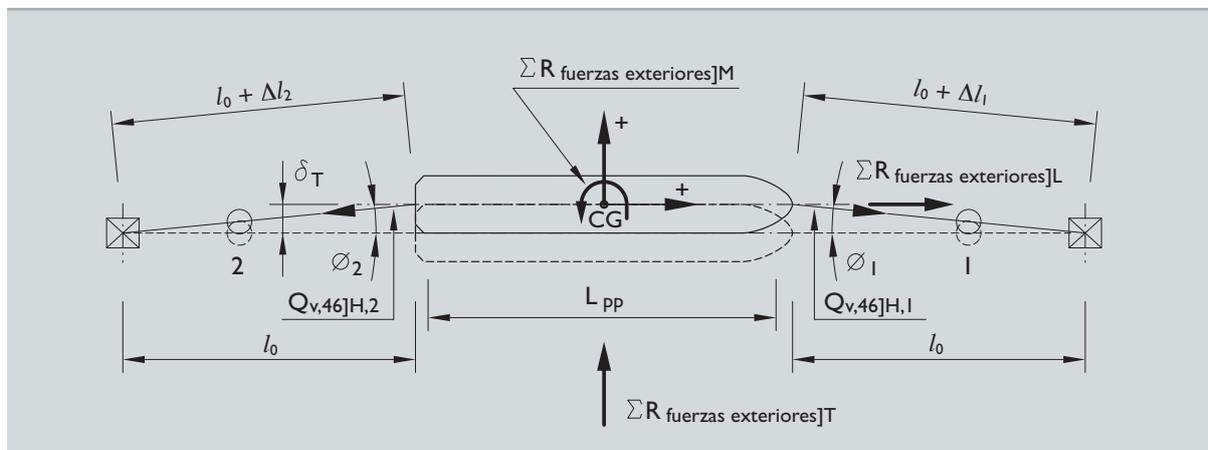
Por la hipótesis de simetría del sistema de amarre, la cuarta ecuación puede expresarse:

$$\frac{(1 + \Delta Q_{v,46]H,1})}{(1 + \Delta Q_{v,46]H,2})} = \frac{\text{sen} \phi_2}{\text{sen} \phi_1}$$

- *Sistemas múltiples constituidos por amarres en proa y popa, con o sin amarres laterales adicionales*

La aproximación estática al estudio de sistemas de amarre múltiples mediante modelos analíticos puede considerarse suficientemente fiable en el rango de aplicación de los mis-

Figura 4.6.4.36. Esquema de cálculo para la determinación de las cargas de amarre en el caso de buque amarrado a un sistema de amarre de orientación fija constituido por dos boyas, una en proa y otra en popa



mos para buques con $L \geq 25\text{m}$ (Ver apartados 4.6.4.4.7.1.1.d. de esta Recomendación y 8.8 de la ROM 3.1-99) cuando estén sometidos a la actuación de agentes de corto periodo, con la excepción del oleaje, debido a que usualmente los periodos de oscilación correspondientes a los movimientos horizontales de dichos buques amarrados con estos sistemas están suficientemente alejados de los de los agentes señalados, y a que para cualquier combinación de dichos agentes siempre existe una triangulación efectiva de amarres que permite mantener estabilizado al buque en su posición.

Sin embargo, la aplicación a amarraderos de orientación fija de modelos analíticos basados en la aproximación estática de la naturaleza dinámica del sistema no se considera de gran fiabilidad cuando los buques están sometidos a la acción del oleaje o de otras oscilaciones del mar de periodo intermedio, debido a que pueden presentarse en el sistema buque/estructura de amarre efectos dinámicos muy significativos al ser los periodos de oscilación del dicho sistema, tanto en lo que corresponde a movimientos verticales como horizontales, del mismo orden de magnitud que los de dichos agentes (ver tabla 4.6.4.56). Por dicha razón, en estos casos, la determinación de las cargas de amarre mediante modelos analíticos se considerará únicamente una primera aproximación, siendo necesaria su validación mediante la utilización de modelos numéricos o experimentales.

Para la determinación de la componente cuasi-estática de las resultantes horizontales de las fuerzas exteriores sobre un buque amarrado a un campo de boyas (amarradero de orientación fija), constituido por amarres en proa y popa con o sin amarres adicionales en las proximidades de proa y popa, será de aplicación lo establecido a estos efectos en el epígrafe a_{11} de este apartado, al ser también admisible considerar simplificada a estos efectos que la posición relativa horizontal del buque respecto a la dirección de actuación de los agentes climáticos y operativos se mantiene constante y coincidente con la posición teórica de reposo en la que se encuentra el buque amarrado cuando no actúan dichos agentes.

Los amarraderos de orientación fija constituidos por sistemas múltiples presentan simetría respecto al eje longitudinal del buque, debido a lo cual el procedimiento general establecido para la distribución de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado entre los distintos elementos que componen el sistema de amarre puede simplificarse al tomar en consideración dicha simetría.

En el caso particular de un sistema de amarre constituido por dos puntos de amarre por proa y dos por popa (Ver figura 4.6.4.37), siempre que no se produzca el destensamiento de ninguna de las líneas de amarre, los incrementos (o decrementos) de las cargas en las amarras respecto a la pretensión inicial pueden obtenerse mediante la formulación de las ecuaciones de equilibrio entre la resultante horizontal de la componente cuasi-estática de las cargas en las líneas de amarre y la componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores que actúan sobre el buque:

$$\begin{aligned}\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L} &= (\Delta Q_{v,46]H,2} + \Delta Q_{v,46]H,3}) \cdot \cos \alpha_2 - (\Delta Q_{v,46]H,1} + \Delta Q_{v,46]H,4}) \cdot \cos \alpha_1 \\ \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} &= (\Delta Q_{v,46]H,1} - \Delta Q_{v,46]H,4}) \cdot \text{sen} \alpha_1 + (\Delta Q_{v,46]H,2} - \Delta Q_{v,46]H,3}) \cdot \text{sen} \alpha_2 \\ \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M} &= \frac{L_{pp}}{2} [(\Delta Q_{v,46]H,1} - \Delta Q_{v,46]H,4}) \cdot \text{sen} \alpha_1 - (\Delta Q_{v,46]H,2} - \Delta Q_{v,46]H,3}) \cdot \text{sen} \alpha_2]\end{aligned}$$

así como por la condición de simetría del sistema de amarre respecto al eje longitudinal del buque:

$$(\Delta Q_{v,46]H,2} + \Delta Q_{v,46]H,3}) \cdot \cos \alpha_2 = -(\Delta Q_{v,46]H,1} + \Delta Q_{v,46]H,4}) \cdot \cos \alpha_1$$

Si adicionalmente el ángulo entre las líneas de amarre de proa y popa adoptado fuera idéntico ($\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$), las componentes horizontales de las cargas en las líneas de amarre que se obtienen por resolución del anterior sistema de ecuaciones, son:

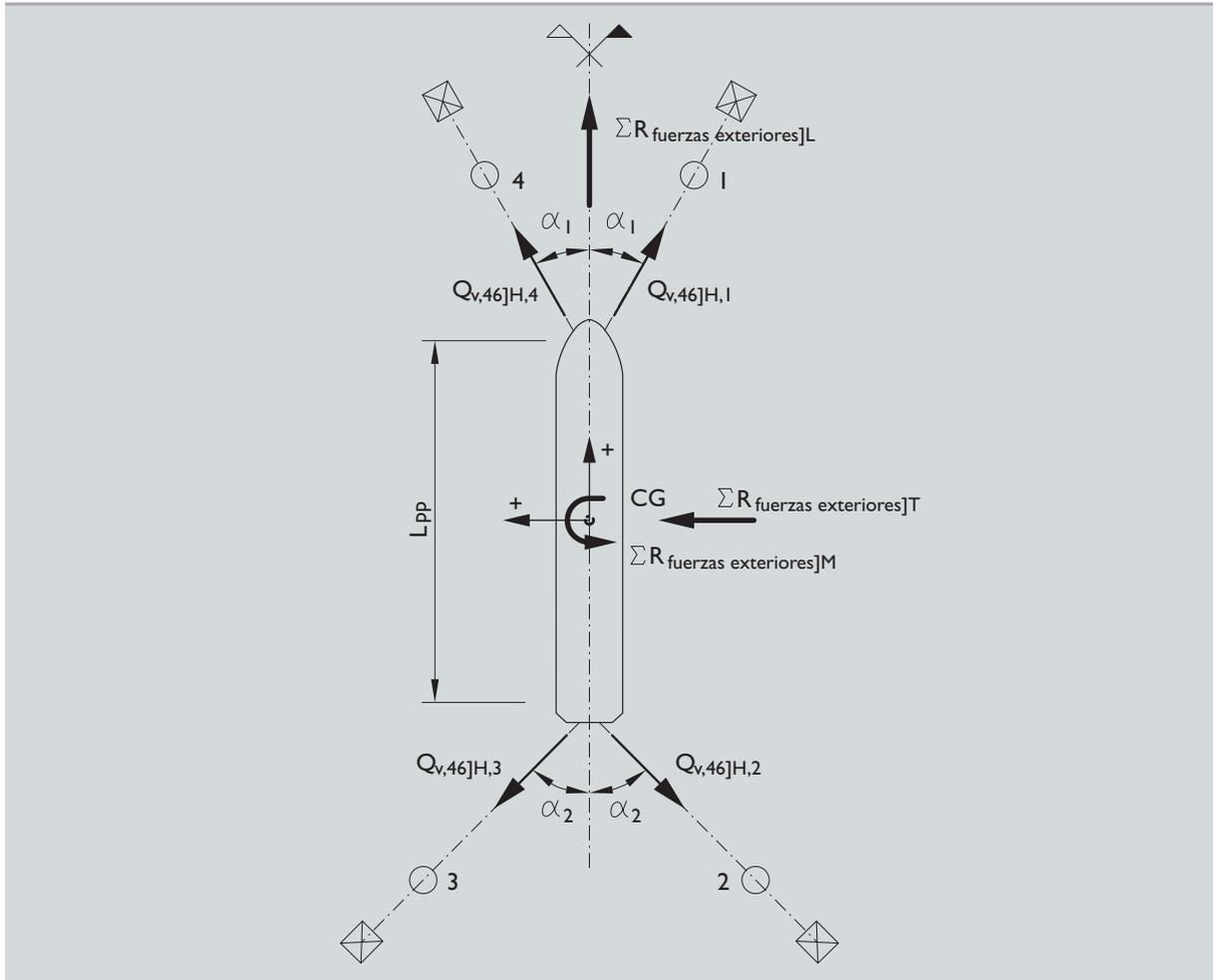
$$\begin{aligned}\Delta Q_{v,46]H,1} &= \frac{-\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L}}{4 \cdot \cos \alpha} + \left(\frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T}}{2} + \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp}} \right) \cdot \frac{1}{2 \cdot \text{sen} \alpha} \\ \Delta Q_{v,46]H,2} &= \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L}}{4 \cdot \cos \alpha} - \left(\frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T}}{2} - \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp}} \right) \cdot \frac{1}{2 \cdot \text{sen} \alpha} \\ \Delta Q_{v,46]H,3} &= \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L}}{4 \cdot \cos \alpha} - \left(\frac{-\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T}}{2} + \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp}} \right) \cdot \frac{1}{2 \cdot \text{sen} \alpha} \\ \Delta Q_{v,46]H,4} &= \frac{-\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L}}{4 \cdot \cos \alpha} + \left(\frac{-\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T}}{2} - \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp}} \right) \cdot \frac{1}{2 \cdot \text{sen} \alpha}\end{aligned}$$

En el caso de que la resolución del anterior sistema diera lugar a una carga global negativa en algunas de las líneas de amarre (pretensión inicial + decremento de la carga de amarre generado de valor negativo), significaría que se produce su destensamiento, debiéndose rehacer los cálculos eliminando dichas líneas de amarre y considerando una pretensión inicial compatible en cada una de las restantes líneas que mantenga el buque estabilizado en su posición de reposo, o bien establecer mayores condiciones de pretensión inicial de todas las líneas con el objeto de que quede garantizado que no se produce el destensamiento de ninguna de ellas. La pretensión inicial de las líneas de amarre adoptadas por el Promotor o, en su caso, el Proyectista correspondientes a cada buque, condición de carga del mismo y condición de trabajo deberán quedar consignadas en las condiciones de explotación de la instalación.

a₂) Simplificaciones admisibles para la distribución de la componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado entre los distintos elementos que componen el sistema de amarre

Del lado de la seguridad, para obtener las cargas de amarre críticas son admisibles las siguientes simplificaciones al procedimiento general establecido en el epígrafe a₁) de este apartado para la distribución de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado entre los distintos elementos que componen los sistemas de amarre, defensa y atraque, dirigidas a facilitar la resolución del sistema de ecuaciones:

Figura 4.6.4.37. Esquema de cálculo para la determinación de las cargas de amarre en el caso de buque amarrado a un sistema de amarre de orientación fija constituido por dos puntos de amarre en proa y dos en popa



a₂₁) Buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija con muelle, pantalán o conjunto de duques de alba (para buques con $L \geq 25$ m)

- Resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado en el sentido de alejamiento del mismo de la obra de atraque

Cuando la resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado es en sentido de alejamiento del mismo de la obra de atraque podrá considerarse que las fuerzas restauradoras son únicamente producidas por las líneas de amarre, sin contribución de las defensas, pudiéndose obtener según cualquiera de los siguientes métodos:

- **MÉTODO I**

La componente de la resultante en sentido longitudinal del buque se supone que es resistida únicamente por los esprines. Asimismo, se supone que la componente transversal y el momento de eje vertical son resistidos únicamente por los traveses de proa y popa o, en su ausencia, por los largos.

La aplicación de este método conlleva que pueda considerarse que el valor absoluto del alargamiento/acortamiento ($\Delta l_{m,i}$) es idéntico en cada esprín, simplificándose el procedimiento general para obtener las variaciones de carga en los esprines a la siguiente formulación (117):

$$\begin{aligned}\Delta Q_{v,46,m,i} &= \frac{\Delta Q_{v,46,m,i]L}}{\cos \alpha_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i}} = \frac{k_{m,i]L}}{\cos \alpha_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i}} \cdot \frac{\Delta l_{m,i}}{l_{m,i}} = \\ &= \frac{k_{m,i]L}}{l_{m,i} \cdot \cos \alpha_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i}} \cdot \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores]L}}}{\sum_j (|k_{m,j]L| / l_{m,j})}\end{aligned}$$

En el caso de que todos los esprines tuvieran idénticas características geométricas y resistentes:

$$\Delta Q_{v,46,mi} = \sum R_{\text{fuerzas exteriores]L}} \cdot \frac{1}{\sum_j (|\cos \alpha_{m,j}| \cdot \cos \beta_{m,j})}$$

Siendo j los esprines que se mantienen en tensión. El signo de $\Delta Q_{v,46,mi}$ será positivo o negativo en función de que la dirección de actuación de la componente longitudinal de la resultante de las fuerzas exteriores produzca un acortamiento o un alargamiento del esprín i considerado.

De igual forma, la aplicación de este método conlleva que pueda considerarse que el alargamiento de los traveses de proa y popa debido a la componente transversal de la resultante de las fuerzas exteriores ($\Delta l_{m,k]T}$) es idéntico en cada través, así como que el valor absoluto del alargamiento/acortamiento de los mismos debido al momento de eje vertical ($\Delta l_{m,k]M}$) es también idéntico en cada uno de ellos siempre que la disposición de las líneas de amarre sea simétrica respecto al centro geométrico del buque, simplificándose el procedimiento general para obtener la carga en los traveses a la siguiente formulación:

$$\begin{aligned}\Delta Q_{v,46,m,k} &= \frac{k_{m,k]T}}{\text{sen} \alpha_{m,k} \cdot \cos \beta_{m,k}} \cdot \frac{\Delta l_{m,k]T}}{l_{m,k}} + \frac{k_{m,k]T}}{\text{sen} \alpha_{m,k} \cdot \cos \beta_{m,k}} \cdot \frac{\Delta l_{m,k]M}}{l_{m,k}} = \\ &= \frac{k_{m,k]T}}{l_{m,k} \cdot \text{sen} \alpha_{m,k} \cdot \cos \beta_{m,k}} \cdot \left[\frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores]T}}}{\sum_s (k_{m,s]T} / l_{m,s})} \pm \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores]M}}}{\sum_s (|k_{m,s]T} \cdot a_{m,s}| / l_{m,s})} \right]\end{aligned}$$

En el caso de que los traveses de proa y popa tuvieran idénticas características geométricas y resistentes:

$$\begin{aligned}\Delta Q_{v,46,m,k} &= \sum R_{\text{fuerzas exteriores]T}} \cdot \frac{1}{\sum_s (\text{sen} \alpha_{m,s} \cdot \cos \beta_{m,s})} \pm \\ &\pm \sum R_{\text{fuerzas exteriores]M}} \cdot \frac{1}{\sum_s (|\text{sen} \alpha_{m,s} \cdot \cos \beta_{m,s} \cdot a_{m,s}|)}\end{aligned}$$

Siendo s los traveses de proa y popa que se mantienen en tensión. Se adoptará en el segundo sumando el signo más o menos en función de que el momento de eje vertical resultante de las fuerzas exteriores de lugar a incremento o reducción de la carga, respectivamente, en el través k considerado.

(117) El significado de los símbolos utilizados en los epígrafes a_{21}) de este apartado se definen al inicio del epígrafe a) del mismo apartado y particularmente en la figura 4.6.4.33.

- MÉTODO 2

En aquellos casos en los que todas las líneas de amarre tengan idénticas características geométricas y resistentes, puede suponerse que todas las líneas de amarre del mismo tipo (esprines o largos/traveses de proa o traveses/largos de popa) reciben el mismo valor absoluto de incremento o decremento de carga debido a cada componente de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado, independientemente de su posición e inclinación, admitiéndose que la componente longitudinal de la resultante de las fuerzas exteriores es resistida únicamente por los esprines y la componente transversal y el momento de eje vertical son resistidos únicamente por traveses y largos.

Estas hipótesis permiten la simplificación de la formulación establecida en el procedimiento general, obteniéndose el valor de los máximos incrementos de carga que se pueden producir en cada tipo de línea de amarre mediante la siguiente formulación:

En los esprines:

$$\Delta Q_{v,46,m}]esprín = \frac{\sum R_{fuerzas\text{exteriores}]L}}{\sum_i (|\cos \alpha_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i}|)}$$

Siendo i los esprines que se mantienen en tensión durante la actuación de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado. Es decir, i se corresponderá con todos los esprines si se cumple:

$$\frac{\sum R_{fuerzas\text{exteriores}]L}}{\sum_i (|\cos \alpha_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i}|)} \leq Q_{v,46,m}]inicial$$

En los largos y traveses de proa y popa:

$$\Delta Q_{v,46,m}]través/largo = \frac{\sum R_{fuerzas\text{exteriores}]T}}{\sum_j (sen \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j})} \pm \frac{\sum R_{fuerzas\text{exteriores}]M}}{\sum_j |sen \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j} \cdot a_{m,j}|}$$

Siendo j los largos y traveses de proa y popa que se mantienen en tensión durante la actuación conjunta de la componente transversal y del momento de eje vertical de la resultante de las fuerzas exteriores. Es decir, j se corresponderá con todos los traveses y largos si se cumple alguna de las dos siguientes condiciones:

$$\frac{\sum R_{fuerzas\text{exteriores}]T}}{\sum_j (sen \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j})} - \frac{\sum R_{fuerzas\text{exteriores}]M}}{\sum_j |sen \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j} \cdot a_{m,j}|} \geq 0$$

$$\left| \frac{\sum R_{fuerzas\text{exteriores}]T}}{\sum_j (sen \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j})} - \frac{\sum R_{fuerzas\text{exteriores}]M}}{\sum_j |sen \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j} \cdot a_{m,j}|} \right| \leq Q_{v,46,m}]inicial$$

$$si \frac{\sum R_{fuerzas\text{exteriores}]T}}{\sum_j (sen \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j})} - \frac{\sum R_{fuerzas\text{exteriores}]M}}{\sum_j |sen \alpha_{m,j} \cdot \cos \beta_{m,j} \cdot a_{m,j}|} < 0$$

En resumen, deberán considerarse en los cálculos todas las líneas de amarre (esprines, largos y traveses de proa y popa) si, de acuerdo con las recomendaciones de buena práctica incluidas en esta Recomendación, se adopta en cada una de ellas un nivel de pretensión inicial suficiente para que se mantengan tensionadas cuando actúa

- **MÉTODO 3**

Por aplicación del método 2 a las configuraciones tipo de sistemas de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado, establecidas en esta Recomendación para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque Tipos I y II (ver tablas 4.6.4.50 y 4.6.4.52) y considerando del lado de la seguridad que las líneas de amarre no están dotadas de un nivel de tensión inicial suficiente que las mantenga tensionadas cuando actúan las fuerzas exteriores, pueden obtenerse las siguientes conclusiones:

- ▶ Si la configuración del sistema de amarre está formada por seis líneas de amarre (dos esprines, dos largos/traveses en proa y dos largos/traveses en popa) puede admitirse simplificada que como máximo los incrementos de carga que se pueden producir en las líneas de amarre por la actuación de la resultante de las fuerzas exteriores son:

En largos y traveses:

$$\Delta Q_{v,46,m}]través/largo = \frac{2}{5} \cdot \left[\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp} / 2} \right]$$

$$\text{si } \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} > \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp} / 2}$$

$$\Delta Q_{v,46,m}]través/largo = \frac{3}{4} \cdot \left[\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp} / 2} \right]$$

$$\text{si } \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} < \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp} / 2}$$

En esprines:

$$\Delta Q_{v,46,m}]sprin = 1,12 \cdot \left[\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L} \right] \quad (120)$$

- ▶ Si la configuración del sistema de amarre está formada por cuatro líneas de amarre (dos esprines, un largo/través en proa y uno en popa) puede admitirse simplificada que como máximo los incrementos de carga que se pueden producir en las líneas de amarre por la actuación de la resultante de las fuerzas exteriores son:

En largos/traveses:

$$\Delta Q_{v,46,m}]través/largo = 1,10 \cdot \left[\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp} / 2} \right]$$

$$\text{si } \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} > \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp} / 2} \quad (121)$$

(118) Equivale a que, con las configuraciones estándar de sistemas de amarre establecidos en esta Recomendación formados por seis líneas de amarre, en las circunstancias citadas un punto de amarre puede recibir adicionalmente como máximo 1/3 de las componentes transversales de la resultante de las fuerzas exteriores.

(119) Equivale a que, con las configuraciones estándar de sistemas de amarre establecidos en esta Recomendación formados por seis líneas de amarre, en las circunstancias citadas un punto de amarre puede recibir adicionalmente como máximo 2/3 de las componentes transversales de la resultante de las fuerzas exteriores.

(120) Equivale a que, con las configuraciones estándar de sistemas de amarre establecidos en esta Recomendación formados por seis líneas de amarre, un punto de amarre puede recibir adicionalmente como máximo la componente longitudinal de la resultante de las fuerzas exteriores.

(121) Equivale a que, con las configuraciones estándar de sistemas de amarre establecidos en esta Recomendación formados por cuatro líneas de amarre, en las circunstancias citadas un punto de amarre puede recibir adicionalmente como máximo 1/2 de las componentes transversales de la resultante de las fuerzas exteriores.

$$\Delta Q_{v,46,m}]_{\text{través/largo}} = 2,20 \cdot \left[\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp} / 2} \right]$$

$$\text{si } \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} < \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}}{L_{pp} / 2}$$

En esprines:

$$\Delta Q_{v,46,m}]_{\text{sprin}} = 1,12 \cdot \left[\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]L} \right] \quad (123)$$

- Resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado en sentido de acercamiento y apoyo del mismo en la obra de atraque

Cuando la resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado es en sentido de acercamiento y apoyo del mismo en la obra de atraque podrá considerarse que las fuerzas restauradoras son producidas tanto por las líneas de amarre como por las defensas, pudiéndose obtener por cualquiera de los siguientes métodos:

- MÉTODO I

De la misma forma que en el caso de que la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado sea en sentido despegante, la componente de la resultante en sentido longitudinal del buque se supone que es resistida únicamente por los esprines (Ver Método I en el epígrafe correspondiente a “Resultante horizontal de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado en sentido de alejamiento del mismo de la obra de atraque”).

No obstante, a diferencia del caso de que la resultante sea en sentido de alejamiento del mismo de la obra de atraque, se supone que la componente transversal y el momento de eje vertical pueden ser resistidos simultáneamente por los traveses de proa y popa, o en su ausencia por los largos, así como por las defensas localizadas en la mitad central del buque ($0,5 \cdot L$) si éste tiene un tonelaje superior a 10.000 TPM o en la cuarta parte central del buque ($0,25 \cdot L$) en buques hasta 10.000 TPM.

La aplicación de este método conlleva que pueda considerarse que el acortamiento de los traveses de proa y popa debido a la componente transversal de la resultante de las fuerzas exteriores ($\Delta l_{m,i}]T$) sea idéntico en cada través, y que el desplazamiento (compresión) de las defensas debido a dicha componente ($\Delta \delta_{fc,j}]T,T$) sea el mismo. La relación entre ambos factores es:

$$\Delta \delta_{fc,j}]T,T = \Delta l_{m,i}]T,T = \Delta l_{m,i}]T \cdot \cos \beta_{m,i} \cdot \text{sen} \alpha_{m,i}$$

Asimismo, puede considerarse que el valor absoluto del acortamiento/alargamiento de los traveses debido al momento de eje vertical ($\Delta l_{m,i}]M$) es el mismo en cada uno de ellos, y que el valor absoluto de los desplazamientos de las defensas ($\Delta \delta_{fc,j}]M,T$)

(122) Equivale a que, con las configuraciones estándar de sistemas de amarre establecidos en esta Recomendación formados por cuatro líneas de amarre, en las circunstancias citadas un punto de amarre puede recibir adicionalmente como máximo la componente transversal de la resultante de las fuerzas exteriores.

(123) Equivale a que, con las configuraciones estándar de sistemas de amarre establecidos en esta Recomendación formados por cuatro líneas de amarre, un punto de amarre puede recibir adicionalmente como máximo la componente longitudinal de la resultante de las fuerzas exteriores.

tiene una distribución lineal con desplazamiento nulo a la altura del centro geométrico del buque, siempre que la disposición de líneas de amarre y defensas sea simétrica respecto a dicho centro geométrico, relacionándose con el alargamiento/acortamiento de los traveses mediante la siguiente formulación:

$$\Delta\delta_{fc,j]M,T} = \left| \frac{b_{f,j}}{a_{m,i}} \right| \cdot \Delta l_{m,i]M,T} = \left| \frac{b_{f,j}}{a_{m,i}} \right| \cdot \cos \beta_{m,i} \cdot \text{sen} \alpha_{m,i} \cdot \Delta l_{m,i}$$

Con estas hipótesis, el procedimiento general para obtener la carga en las defensas se simplifica a la siguiente formulación:

$$\Delta Q_{v,46,f,j]T} = E_{f,j} \cdot \Delta\delta_{fc,j} = E_{f,j} \cdot \left[\frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores]T}}}{\sum_s (k_{m,s]T} / (\cos \beta_{m,s} \cdot \text{sen} \alpha_{m,s} \cdot l_{m,s})) + \sum_k E_{f,k}} \pm \right. \\ \left. \pm |b_{f,j}| \cdot \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores]M}}}{\sum_s \left| \frac{k_{m,s]T} \cdot a_{m,s}^2}{l_{m,s} \cdot \cos \beta_{m,s} \cdot \text{sen} \alpha_{m,s}} \right| + \left| \sum_k E_{f,k} \cdot b_{f,k}^2 \right|} \right]$$

En el caso de que los traveses de proa y popa, así como todas las defensas, tuvieran idénticas características geométricas y resistentes:

$$\Delta Q_{v,46,f,j]T} = E_{f,j} \cdot \left[\frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores]T}}}{\frac{E_{m,i} \cdot A_{m,i}}{l_{m,i}} \cdot s + E_{f,j} \cdot k} \pm |b_{f,j}| \cdot \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores]M}}}{\frac{E_{m,i} \cdot A_{m,i} \cdot a_{m,i}^2}{l_{m,i}} \cdot s + E_{f,j} \cdot \sum_k b_{f,k}^2} \right]$$

Siendo s los traveses de proa y popa que se mantienen en tensión y k las defensas que se mantienen comprimidas de entre las localizadas en la mitad central del buque si éste tiene un tonelaje superior a 10.000 TPM o en la cuarta parte central del mismo en buques hasta 10.000 TPM.

En el caso de que los traveses de proa y popa no se mantuvieran en tensión y las defensas tuvieran idénticas características geométricas y resistentes:

$$\Delta Q_{v,46,f,j]T} = \frac{1}{k} \cdot \left[\sum R_{\text{fuerzas exteriores]T} \right] \pm |b_{f,j}| \cdot \left[\frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores]M}}}{\sum_k b_{f,k}^2} \right]$$

Se adoptará en el segundo sumando el signo más o menos en función de que el momento de eje vertical resultante de las fuerzas exteriores de lugar a incremento o reducción de de la carga, respectivamente, en la defensa j considerada.

De igual forma, con estas hipótesis, el procedimiento general para obtener las cargas en las líneas de amarre se simplifica a la siguiente formulación:

$$\Delta Q_{v,46,m,i} = \frac{k_{m,i]T} \cdot \Delta l_{m,i}}{l_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i} \cdot \text{sen} \alpha_{m,i}} = \frac{k_{m,i]T}}{l_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i} \cdot \text{sen} \alpha_{m,i}} \cdot \\ \cdot \left[\frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores]T}}}{\sum_s \frac{k_{m,s]T}}{l_{m,s}} + \sum_k E_{f,k} \cdot \cos \beta_{m,i} \cdot \text{sen} \alpha_{m,i}} \pm \right. \\ \left. \pm \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores]M}}}{\sum_s \left| \frac{k_{m,s]T} \cdot a_{m,s}}{l_{m,s}} \right| + \sum_k \left| \frac{E_{f,k} \cdot b_{f,k}^2 \cdot \cos \beta_{m,i} \cdot \text{sen} \alpha_{m,i}}{a_{m,i}} \right|} \right]$$

En el caso de que los traveses de proa y popa, así como todas las defensas, tuvieran idénticas características geométricas y resistentes:

$$\Delta Q_{v,46,m,i} = \frac{E_{m,i} \cdot A_{m,i}}{l_{m,i} \cdot \cos \beta_{m,i} \cdot \text{sen} \alpha_{m,i}} \cdot \left[\frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T}{\frac{E_{m,i} \cdot A_{m,i} \cdot s}{l_{m,i}} + E_{j,k} \cdot k} \pm \frac{\sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}{\left[\frac{E_{m,i} \cdot A_{m,i}}{l_{m,i}} \cdot \sum_s |a_{m,s}| + E_{f,k} \cdot \sum_k \frac{b_{f,k}^2}{a_{m,i}} \right]} \right]$$

Teniendo *s* y *k* el mismo significado que el señalado en la formulación anterior incluida en este epígrafe.

Se adoptará en el segundo sumando el signo más o menos en función de que el momento de eje vertical resultante de las fuerzas exteriores de lugar a incremento o reducción de de la carga, respectivamente, en la línea de amarre *i* considerada.

● **MÉTODO 2**

Por aplicación del método I de este apartado a las configuraciones estándar de sistemas de amarre para buque amarrado lateralmente o de costado, establecidas en esta Recomendación (ver tablas 4.6.4.50, 4.6.4.51 y 4.6.4.52) y considerando del lado de la seguridad que las líneas de amarre no se mantienen en tensión cuando actúan las fuerzas exteriores en sentido de acercamiento y apoyo del buque en la obra de atraque, así como que las defensas no están dotadas de un nivel de compresión inicial suficiente que las mantenga comprimidas cuando actúan dichas fuerzas exteriores, pueden obtenerse las siguientes conclusiones:

- ▶ Puede admitirse simplifcadamente que en obras de atraque continuas (muelle o pantalán) como máximo los incrementos de carga que pueden producirse en las defensas por la actuación de la resultante de las fuerzas exteriores en sentido de acercamiento y apoyo del buque en la obra de atraque son:

En buques de más de 10.000 TPM:

$$\Delta Q_{v,46,f} = \frac{1}{4} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{1}{L/2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M} \tag{124}$$

$$\text{si } \frac{1}{4} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} \geq \frac{1}{L/2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

$$\Delta Q_{v,46,f} = \frac{1}{2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{1}{L/4} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M} \tag{125}$$

$$\text{si } \frac{1}{4} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} < \frac{1}{L/2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

En buques de hasta 10.000 TPM:

(124) Equivale a considerar que el momento de eje vertical resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado es soportado únicamente por las dos defensas más exteriores de las localizadas a ambos lados en la mitad central del buque.

(125) Equivale a considerar que el momento de eje vertical resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado es soportado únicamente por la defensa más exterior localizada a un lado en la mitad central del buque.

$$\Delta Q_{v,46,f} = \frac{1}{2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{1}{L/8} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M} \quad (126)$$

$$\text{si } \frac{1}{2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} \geq \frac{1}{L/8} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

$$\Delta Q_{v,46,f} = \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{1}{L/16} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M} \quad (127)$$

$$\text{si } \frac{1}{2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} < \frac{1}{L/8} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

- Puede admitirse simplificadaamente que en obras de atraque discontinuas (pantallón discontinuo o solución mixta) como máximo los incrementos de carga que pueden producirse en las defensas por la actuación de la resultante de las fuerzas exteriores en sentido de acercamiento y apoyo del buque en la obra de atraque son:

$$\Delta Q_{v,46,f} = \frac{1}{2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{1}{L/4} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

$$\text{si } \frac{1}{2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} \geq \frac{1}{L/4} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

$$\Delta Q_{v,46,f} = \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} + \frac{1}{L/8} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

$$\text{si } \frac{1}{2} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]T} < \frac{1}{L/4} \cdot \sum R_{\text{fuerzas exteriores}]M}$$

a₃) Relación entre la carga de amarre media y la carga de amarre máxima y mínima más probable en una condición de trabajo

Considerando como hipótesis admisible que las cargas de amarre son acciones variables de carácter oscilatorio siempre y cuando la línea de amarre o la defensa considerada se mantenga en tensión o comprimida, respectivamente, en todo momento en la condición de trabajo considerada, en el rango de validez establecido de los modelos analíticos para la determinación de las acciones de amarre descritos en esta Recomendación (Ver apartado 4.6.4.4.7.1.3. a.) las cargas máximas y mínimas de amarre más probables en una condición de trabajo pueden definirse simplificadaamente a partir de las componentes medias o cuasi-estáticas obtenidas por aplicación de dichos modelos analíticos por medio de coeficientes de mayoración y minoración, respectivamente, que estiman la magnitud de las componentes máximas y mínimas de fluctuación respecto a dichos valores medios.

Dichos coeficientes son función de las características del buque, de las cargas actuantes sobre el mismo y de la tipología, disposición, dimensiones y características resistentes y de comportamiento de los sistemas de atraque y amarre, así como del valor de la pretensión en las amarras y de compresión en las defensas en relación con la correspondiente carga media en las mismas. Del lado de la seguridad y a falta de un análisis más detallado, con carácter general, independiente de la disposición y características de los sistemas de amarre y defensa adoptados, cuando las componentes

(126) Equivale a considerar que el momento de eje vertical resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado es soportado únicamente por las dos defensas más exteriores de las localizadas a ambos lados en la cuarta parte central del buque.

(127) Equivale a considerar que el momento de eje vertical resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado es soportado únicamente por la defensa más exterior localizada a un lado en la cuarta parte central del buque.

medias de las cargas de amarre se determinen mediante modelos analíticos es admisible considerar 2.0 como valor de dichos coeficientes de mayoración/minoración. Es decir:

$$\hat{Q}_{v,46,m,i]_{\max}} = 2,0 \cdot Q_{v,46,m,i]_{\text{media}}} = 2,0 \cdot \bar{Q}_{v,46,m,i}$$

$$\hat{Q}_{v,46,f,j]_{\max}} = 2,0 \cdot Q_{v,46,f,j]_{\text{media}}} = 2,0 \cdot \bar{Q}_{v,46,f,j}$$

a.4) Definición de las condiciones límite de operatividad para la permanencia del buque en el atraque

Salvo en condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque con buque atracado (Ver apartado 4.6.4.2), así como en condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de operaciones de atraque (Ver apartado 4.6.4.4.3.1.1), la determinación de las cargas de amarre asociadas a la flota de buques esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos establecidas por el Promotor de la instalación, exige de éste la definición previa de las condiciones climáticas y operativas límite, en magnitud y dirección, para cada uno de los agentes de carácter variable actuantes sobre el buque amarrado que, en función de los criterios de diseño, explotación o seguridad establecidos para la instalación de atraque, se adoptan para la permanencia de cada uno de los buques en el atraque, considerando todas las causas que pueden dar lugar a este modo de parada operativa. Es decir, las condiciones climáticas y operativas que si se superan obligan al abandono del puesto de atraque por parte del buque.

Las causas de suspensión de la permanencia del buque en el atraque a considerar son:

1. Suspensión por no quedar garantizada la funcionalidad del buque en el atraque por incompatibilidad entre la configuración del sistema de amarre prevista en el proyecto, los medios auxiliares disponibles en el puerto (p.e. remolcadores), en su caso, y los movimientos del buque.
2. Suspensión por insuficiencia de calado.
3. Suspensión por superación de la máxima carga admisible en el casco del buque o en alguno de los elementos que conforman el sistema de amarre (defensas, bolardos, líneas de amarre, ...).
4. Suspensión por situación de emergencia del buque, de la instalación de atraque o de la terminal por causas propias o ajenas. ⁽¹²⁸⁾

■ CAUSA 1 DE SUSPENSIÓN DE LA PERMANENCIA DEL BUQUE EN EL ATRAQUE

Para la causa de suspensión de la permanencia del buque en el atraque por incompatibilidad entre la configuración del sistema de amarre prevista en el proyecto, los medios auxiliares disponibles y los movimientos del buque, los valores umbrales de operatividad de las variables que caracterizan a los agentes actuantes sobre el buque amarrado (viento, corrientes, oleaje, ...) se definirán considerando sucesivamente cada variable como predominante, el resto de variables desfavorables simultáneas actuando con los valores representativos de compatibilidad con el valor adoptado para la variable predominante en el estado meteorológico u operativo de proyecto que define las condiciones de trabajo operativas (Ver apartado 4.6.2.1 y epígrafe de este apartado a_4 referente a la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últi-

(128) La causa 4 de suspensión de la permanencia del buque en el atraque no tiene incidencia para la determinación de las condiciones climáticas y operativas límite de las que son función las cargas de amarre. No obstante, esta causa de suspensión debe analizarse siempre y particularmente en las terminales de mercancías peligrosas con el objeto de tener establecido en los manuales de explotación de la instalación a dónde y en qué condiciones se lleva al buque cuando se produce cada situación de emergencia que obliga al abandono del buque del puesto de atraque, dependiendo de las condiciones climáticas existentes en ese momento. En este sentido se señala que el Promotor de la instalación puede establecer la permanencia del buque en el atraque cuando se produzcan determinadas situaciones de emergencia (p.e. rotura de la amarra más cargada). En estos casos deberá verificarse que en esta situación no se produce la causa 3 de suspensión de la permanencia del buque en el atraque.

mos en condiciones de operación correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque) y estudiando el valor límite de esta variable a partir de la cual los movimientos del buque, en las situaciones límite de carga del mismo, no se mantienen en el rango admisible. A estos efectos pueden considerarse como valores admisibles de los movimientos el 80% de los señalados en la tabla 4.6.4.48 con el objeto de tomar en consideración que los modelos analíticos permiten únicamente definir las componentes medias de movimientos y cargas de amarre.

En el caso de que la variable considerada como predominante pueda actuar en varias direcciones, los valores umbrales deberán diferenciarse por sectores direccionales de actuación. En el caso de que el agente predominante pueda actuar en cualquier dirección, se diferenciarán como mínimo cuatro sectores direccionales, dos centrados con la dirección el eje longitudinal del buque (uno en el sentido de proa a popa y otro en el sentido de popa a proa) y dos con la dirección perpendicular al mismo (uno en sentido de alejamiento del buque de la obra de atraque y otro en sentido de acercamiento y apoyo del buque en dicha obra). A los efectos de los valores de compatibilidad de las variables de actuación simultánea con el valor y dirección adoptados para la variable predominante, en el caso de que una variable independiente de la adoptada como predominante pueda actuar en varios sectores direccionales, se adoptará como dirección y sentido de actuación de la misma la que pueda dar lugar a los efectos analizados más desfavorables tomando en consideración la dirección de actuación de la variable predominante. Simplificadamente puede adoptarse como dirección y sentido de actuación de la misma la más próxima a la considerada para la variable predominante.

A falta de estudios más precisos entre movimientos del buque y agentes actuantes sobre el buque amarrado, pueden adoptarse con carácter general como valores umbrales de la variable climática considerada como predominante que limitan la permanencia del buque en el atraque por razones funcionales asociadas con los movimientos de los buques los recogidos en la tabla 3.2.1.3. de esta Recomendación o, de forma más precisa, en la tabla 4.6.4.49 en función de si la disposición del sistema de amarre adoptada es la recomendada para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque Tipos I y II o Tipo III. Se considerará que las variables no contempladas en dichas tablas no limitan esta condición operativa.

■ CAUSA 2 DE SUSPENSIÓN DE LA PERMANENCIA DEL BUQUE EN EL ATRAQUE

Para la causa de suspensión de la permanencia del buque en el atraque por insuficiencia de calado se tomarán como variables que pueden limitar la operatividad tanto el nivel bajo de las aguas exteriores como las variables de los agentes climáticos y operativos que inciden en el calado dinámico del buque (Ver ROM 3.1-99), considerando sucesivamente cada una de dichas variables como predominante y para el resto de variables los valores representativos compatibles de los agentes desfavorables a estos efectos que pueden actuar simultáneamente sobre el buque amarrado en el estado meteorológico de proyecto que define las condiciones de trabajo operativas (Ver apartado 4.6.2.1 y epígrafe de este apartado a_4 referente a la verificación de modo de fallo adscritos a estados límite últimos en condiciones de operación correspondiente al estado límite de permanencia del buque en el atraque). Para fijar los límites de operatividad de cada una de estas variables por esta causa de suspensión, se considerará el calado total del buque, en las situaciones límite de carga del mismo, (es decir, la suma de su calado estático, sobrecalados adicionales, calado dinámico y márgenes de seguridad) en los estados meteorológicos u operativos asociados a la variable adoptada como predominante, estudiando el valor límite de dicha variable a partir de la cual el calado dinámico del buque es mayor o igual al calado existente en el emplazamiento en el estado meteorológico u operativo definido por la misma. En lo que respecta a las direcciones de actuación de las variables consideradas como predominantes y de las variables de actuación simultánea será de aplicación lo dispuesto para la causa I de suspensión. El procedimiento de cálculo de los calados dinámicos se incluye en la ROM 3.1-99.

■ CAUSA 3 DE SUSPENSIÓN DE LA PERMANENCIA DEL BUQUE EN EL ATRAQUE

Para la causa de suspensión de la permanencia del buque en el atraque por superación de la máxima carga admisible en el casco del buque o en alguno de los elementos que conforman el sistema de amarre deberán previamente correlacionarse los valores máximos de las cargas de amarre (componentes medias mayoradas) con los valores medios y éstos con la resultante de las fuerzas exteriores actuantes sobre el buque amarrado. En este caso los umbrales de operatividad de las variables que caracterizan a los agentes actuantes se definirán siguiendo el mismo proceso que el establecido para la causa 1 de suspensión pero estudiando el valor límite de cada variable considerada como predominante a partir de la cual se alcanza la máxima carga admisible en el casco del buque o en alguno de los elementos que conforman el sistema de amarre del buque, en las situaciones límite de carga de los mismos ⁽¹²⁹⁾.

Se adoptarán a estos efectos como máximas cargas admisibles en el casco del buque y en los elementos que conforman el sistema de amarre en condiciones de trabajo operativas:

- En el casco del buque: los valores máximos admisibles de las presiones sobre el casco de los buques establecidos en la tabla 4.6.4.42. de esta Recomendación.
- En líneas de amarre: el 50% de la carga última de la línea de amarre o el 40% de la misma cuando no quede garantizado por requerimientos de explotación o de seguridad del buque una adecuada renovación y mantenimiento de las amarras, así como en buques con dispositivos de tensión constante.
- En defensas: la correspondiente al desplazamiento maximal de la defensa (y, en su caso, también de la obra de atraque) que define el dominio admisible.
- En bolardos, bitas, ganchos de amarre u otros equipos auxiliares de sujeción de las líneas de amarre: el 80% de la capacidad resistente del equipo.

Una vez obtenidas, para cada buque con la configuración y características del sistema de amarre considerados, las funciones de correlación entre cada movimiento horizontal del buque amarrado, las componentes de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores que lo genera y las cargas de amarre a que da lugar (ver figura 4.6.4.34), con el objeto de facilitar el procedimiento para la obtención de los límites de operatividad en cada sector direccional, para cada variable adoptada como predominante será suficiente obtener movimientos del buque, cargas de amarre y calados asociados únicamente con los valores correspondientes a probabilidades absoluta de excedencia en el año medio en el emplazamiento del 15%, del 5%, del 1% y del 0,1%, en cada una de las direcciones en las que pueda presentarse dicha variable ⁽¹³⁰⁾. En el caso de que la variable predominante considerada no tenga componente direccional, los niveles de excedencia se obtendrán directamente en el régimen medio escalar. Para obtener los valores umbrales de operatividad será admisible la interpolación lineal entre los valores de movimientos, calados y cargas de amarre obtenidos para cada uno de dichos valores de la variable predominante. No obstante, podrán eliminar-

(129) La causa de suspensión de la permanencia del buque en el atraque por superación de la máxima carga admisible en el casco del buque o en alguno de los elementos que conforman el sistema de amarre no se tomará en consideración cuando el proyecto de dichos elementos se realiza con las cargas de amarre resultantes considerando únicamente las causas 1 y 2 de suspensión de permanencia del buque en el atraque y se redimensione, en su caso, el sistema de amarre readaptando la configuración y características iniciales adoptadas para el mismo para que sus características resistentes o las del casco del buque no sean causa de suspensión. Por el contrario, deberá considerarse cuando estos elementos se hayan dimensionado mediante la utilización de cargas mínimas de amarre o se trate de un proceso de verificación de una obra de atraque ya construida para nuevas condiciones de explotación de la instalación.

(130) La probabilidad absoluta anual de que una variable X_i correspondiente al sector direccional α_j exceda un valor umbral X_{i0} se calcula por medio de la siguiente formulación:

$$P(X_i > X_{i0}, \alpha_j) = f(\alpha_j) \cdot P(X_i > X_{i0} | \alpha_j)$$

Siendo $f(\alpha_j)$ la frecuencia de presentación del sector direccional α_j y $P(X_i > X_{i0} | \alpha_j)$ el régimen medio direccional definido en términos de probabilidad de excedencia, al que se denomina función de supervivencia direccional en el año medio.

se de los cálculos los niveles de excedencia en los cuales el valor de la variable asociado con los mismos se encuentre muy por debajo de los valores umbrales generales establecidos para la misma para cada una de las condiciones operativas en las tablas 3.2.1.3 y 4.6.4.49 de esta Recomendación.

En cualquier caso, no se eliminará la consideración del nivel de las aguas exteriores como variable predominante como mínimo con el valor asociado a una probabilidad de presentación del 0,1%, con el objeto de verificar de que para ese valor no se produce la suspensión de la permanencia del buque en el atraque por insuficiencia de calado. En el caso de que este modo de parada se produjera con este nivel de probabilidad, deberán también considerarse los valores asociados con el resto de probabilidades de presentación del nivel de las aguas exteriores.

El valor umbral límite para la permanencia de un buque en el atraque de cada una de las variables que caracterizan a los agentes actuantes en cada uno de los sectores direccionales será el más restrictivo de los valores umbrales de operatividad de dicha variable en cada dirección, considerando todas las causas de suspensión. No obstante, si alguno de estos valores no es alcanzable en el emplazamiento con una probabilidad absoluta anual de excedencia mayor de 10^{-3} , podrá considerarse bien que:

- La variable en esa dirección no limita la condición operativa de permanencia del buque en el atraque.
- El valor umbral de operatividad de la variable en esa dirección es el asociado con dicha probabilidad absoluta anual de presentación.

En el caso que se establezcan valores umbrales límite de operatividad de una variable para la permanencia del buque en el atraque deberá quedar garantizada la existencia de instalaciones, sistemas, equipos y protocolos que permitan el abandono del buque del puesto de atraque en condiciones seguras cuando se superen los valores umbrales establecidos para la misma con los valores de compatibilidad para el resto de las variables actuantes sobre el buque. A estos efectos deberá realizarse especialmente un análisis de capacidad de los remolcadores disponibles. Si no quedara garantizado el abandono del buque del puesto de atraque en condiciones seguras para el valor umbral de una variable, se considerará que dicha variable no limita esta condición operativa, debiéndose modificar la configuración del sistema de amarre y/o los calados previstos inicialmente con el objeto de que el buque pueda permanecer en el puesto de atraque en condiciones seguras en condiciones extremas y excepcionales asociadas a dicha variable, considerando cualquier causa de suspensión. La utilización de esta configuración podrá considerarse bien con carácter general en todos los ciclos de solicitud o únicamente cuando se presenten condiciones extremas y excepcionales. En este caso, las condiciones de explotación de la instalación deberán establecer expresamente el cambio de configuración y características del sistema de amarre cuando se presenten estas últimas condiciones de trabajo.

Asimismo, con carácter general, las variables de los agentes climáticos y operativos para los cuales no se hayan definido condiciones límite en una dirección se considerarán que no son causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque, debiéndose garantizar su seguridad en el puesto de atraque en condiciones extremas y excepcionales asociadas a dichas variables cuando actúen en dicha dirección. Cuando, simplificada, las cargas de amarre se determinen únicamente para los buques de mayor y menor desplazamiento máximo de cada tipología diferenciada pertenecientes a la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite consideradas (ver epígrafe a₅ de este apartado), la definición de las condiciones límite de operatividad para la permanencia de los buques en el atraque se limitará a estos buques. Si el Promotor no define expresamente las condiciones límite de carga de los buques, los cálculos podrán limitarse a los buques en situación de plena carga y en lastre.

a₅) Definición de las cargas de amarre mediante modelos analíticos

Las cargas de amarre determinadas mediante la aplicación de los modelos analíticos, basados en la distribución de la resultante de las fuerzas exteriores actuantes sobre los buques entre los diferentes elementos que forman el sistema de amarre, se obtendrán a partir de la combinación de las

acciones simultáneas desfavorables que, en cada uno de los ciclos de sollicitación que pueden presentarse de forma compatible con las condiciones límite de permanencia en el atraque establecidas, actúan sobre el buque amarrado.

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las cargas de amarre se definirán:

a₅₁) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilista

Para formulaciones deterministas y deterministas-probabilistas, los valores representativos de las cargas de amarre en cada estado de proyecto representativo de los diferentes ciclos de sollicitación en los que se considere la actuación de esta acción se obtendrán a partir de los siguientes valores de los factores de proyecto que intervienen en la formulación de la acción:

■ **Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos**

- *En condiciones de operación correspondiente al estado límite de permanencia del buque en el atraque con una determinada configuración y características del sistema de amarre*

Puede considerarse que las cargas de amarre son el agente de uso y explotación predominante que definen el modo de parada operativa correspondiente a la permanencia del buque en el atraque con una determinada configuración y características del sistema de amarre.

Para cada tipo de buque y situación de carga del mismo esperable en el atraque definido por sus parámetros geométricos representativos (Ver apartado 4.6.4.4.1), el valor representativo de las componentes medias de las cargas de amarre se definirá como el valor más desfavorable para el elemento del sistema de amarre considerado o el modo de fallo analizado, obtenido a partir de los correspondientes valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores debidas a los agentes que actúan simultáneamente sobre el buque amarrado, así como de los valores nominales de los parámetros que definen la configuración y características del sistema de amarre y defensas (longitudes, ángulos horizontales, módulos de deformación, ...) que puedan considerarse permanentes para dicho buque en dicha condición de trabajo (Ver apartado 4.6.4.4.7.1.1). Para aquellos parámetros que definen la configuración del sistema de amarre que dependen de algún agente actuante (p.e. ángulo de las líneas de amarre con la horizontal que depende del agente nivel de las aguas exteriores) se adoptará el valor asociado con los umbrales de operatividad cuando se considere este agente como predominante o con el valor de compatibilidad del agente del que depende en los casos en que se considere otro de los agentes actuantes como predominante.

Los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre cada buque y situación límite de carga del mismo se obtendrán como suma de las fuerzas debidas a cada uno de los agentes que pueden actuar sobre el buque, considerando sucesivamente como variable predominante cada una de las variables de los agentes atmosféricos básicos y climáticos marinos de carácter variable que limitan esta condición operativa. En cada uno de estos casos, el cálculo de la fuerza resultante se realizará considerando como valor representativo de la variable principal del agente predominante el correspondiente al valor umbral de operatividad establecido para dicho buque, diferenciado, en su caso, según las diferentes direcciones de actuación. Para la verificación de esta condición de trabajo con criterio incondicional de no fallo o con probabilidades de fallo menores del 5%, se adoptarán como valores de compatibilidad del resto de agentes actuantes los siguientes (Ver apartado 4.1.1.1.1. c):

- Para las variables principales de los agentes atmosféricos y climáticos de actuación simultánea, desfavorables para el elemento del sistema de amarre conside-

rado o el modo de fallo analizado, independientes del agente predominante, el valor de compatibilidad será el valor cuasi-permanente; es decir, el asociado con una probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio ⁽¹³¹⁾, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para el buque que pudiera estar establecido individualmente para el correspondiente agente en el sector direccional considerado ⁽¹³²⁾. En el caso de que se superara se adoptará como valor representativo el citado límite de operatividad.

- Para las variables no principales tanto del agente predominante como del resto de agentes atmosféricos y climáticos marinos de actuación simultánea independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del predominante, el valor de compatibilidad será el correspondiente al cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y , en su caso, dirección adoptados para la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada.
- Para los agentes operativos que actúen sobre el buque amarrado (p.e. succión y rechazo sobre el buque amarrado debida a los efectos hidrodinámicos inducidos por el paso de buques en tránsito, asientos y escoras causados por las modificaciones de las condiciones de carga del buque, ...) que sean desfavorables para el elemento del sistema de amarre considerado o el modo de fallo analizado se adoptará como valor representativo de su variable principal el asociado a las condiciones límite de explotación de la instalación o a los valores máximos previsibles (p.e. altura de ola máxima producida por los buques en tránsito) para la misma (Valores característicos y de combinación. Ver apartado 4.6.4.4.2.1).

En el caso de que el agente predominante pueda actuar en cualquier dirección, el cálculo de la fuerza resultante se realizará como mínimo tanto en la dirección del eje longitudinal del buque como en la dirección perpendicular al mismo, en sentido de alejamiento del buque de la obra de atraque o de acercamiento y apoyo del mismo en función del que sea más desfavorable para el elemento del sistema de amarre y atraque considerado o el modo de fallo analizado.

En el caso de que un agente independiente del agente predominante pueda actuar en varios sectores direccionales, se adoptará como dirección de actuación del mismo la que pueda dar lugar a los efectos analizados más desfavorables tomando en consideración la dirección de actuación de la variable predominante. Simplificadamente puede adoptarse como dirección y sentido de actuación del mismo la más próxima a la considerada para el agente predominante.

El valor característico de la componente media de la carga de amarre en cada punto de amarre y defensa será el mayor de los valores representativos de dichas cargas asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable, en las situaciones de carga

(131) En el caso de que el agente atmosférico o climático independiente del agente predominante actúe básicamente en una única dirección, la dirección no sea una variable de estado del mismo o no se disponga de regímenes medios direccionales, la probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio de la variable principal se corresponderá con el cuantil del 50% en el régimen medio de dicha variable. Si puede actuar en varias direcciones y se disponen de regímenes medios direccionales, el valor de compatibilidad asociado a un sector direccional α_i será igual al correspondiente al cuantil $[1-0,50/f(\alpha_i)]$ del régimen medio direccional o a cero si dicho valor es negativo, siendo $f(\alpha_i)$ la frecuencia de presentación del sector direccional i (Ver Nota 41).

(132) Por ejemplo, la aplicación de este epígrafe conlleva que en los casos en los que se considere que el agente predominante actuante sobre el buque amarrado no son los niveles de las aguas exteriores y éstos son independientes del agente predominante, deberá considerarse como nivel de compatibilidad de las mismas a los efectos de la determinación de las cargas de amarre el nivel superior e inferior de las aguas exteriores los asociados con una probabilidad de no excedencia del 50% en el año medio, sin superar, en su caso, los límites de operatividad establecidos para el nivel de las aguas. En el caso de que los niveles de las aguas exteriores se consideraran dependientes del agente predominante se estará a lo dispuesto en el epígrafe siguiente.

límite del buque en el atraque. A estos efectos es admisible considerar simplificada, para cada tipología diferenciada, los buques de mayor y menor desplazamiento máximo de la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite consideradas. Si el Promotor no define expresamente las condiciones límite de carga, los cálculos podrán limitarse a los buques en situación de plena carga y en lastre.

El valor característico de la carga de amarre será el valor característico de la componente media, multiplicado por el coeficiente de mayoración (Ver epígrafe a_3 de este apartado).

El estado meteorológico asociado al valor característico de la carga de amarre en el elemento del sistema de amarre y para el modo de fallo considerado, definido por las direcciones y sentido de actuación y los valores representativos de los agentes atmosféricos básicos y climáticos marinos que dan lugar al mismo, se considerará como estado meteorológico representativo de las condiciones de operación correspondiente al estado límite de permanencia del buque en el atraque, utilizándose a los efectos de la obtención de los valores compatibles de otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en dicho estado que dependan de los agentes meteorológicos.

- *En condiciones de operación correspondiente al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque con buque atracado*

Para cada tipo de buque y situación de carga del mismo esperable en el atraque, el valor representativo de las componentes medias de las cargas de amarre se definirá como el valor más desfavorable para el elemento del sistema de amarre considerado o el modo de fallo analizado, obtenido a partir de los correspondientes valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores debidas a los agentes que actúan simultáneamente sobre el buque amarrado considerando los estados meteorológicos compatibles con el definido como representativo de las condiciones de operación correspondiente al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque con buque atracado, adoptado para dicho buque y modo de fallo a los efectos de determinación de las cargas de manipulación, de forma equivalente a lo establecido para condiciones de operación correspondiente a los estados límite de permanencia del buque en el atraque. Los valores representativos de los agentes en los estados límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros para un determinado modo de fallo quedan definidos, respectivamente, en el apartado 4.6.4.2.1. Manipulación de mercancías en áreas de operación y en el apartado 4.6.4.2.3. Embarque y desembarque de pasajeros.

Los valores representativos de los agentes que actúan sobre el buque amarrado o sobre el sistema de amarre que no se incluyan en la definición del estado meteorológico representativo de las condiciones de operación correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros (p.e. en general el nivel de las aguas exteriores) serán los valores de compatibilidad obtenidos de igual forma que lo dispuesto al respecto para condiciones de operación correspondiente al estado límite de realización de las operaciones de permanencia del buque en el atraque.

Asimismo, para la obtención de los valores representativos de las componentes medias de las cargas de amarre correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o de embarque y desembarque deberán tomarse en consideración todas las direcciones de actuación de las variables que sean compatibles con las de las variables que definen cada estado meteorológico representativo de dichas condiciones de trabajo, sin perjuicio de las simplificaciones que puedan efectuarse de acuerdo con los criterios expuestos al respecto para condiciones de operación correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque.

El valor de combinación de la componente media de la carga de amarre en cada punto de amarre y defensa en estas condiciones de trabajo será el mayor de los valores representativos de dichas cargas asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable, en las situaciones de carga límite del buque en el atraque, sin perjuicio de las simplificaciones que puedan realizarse en los cálculos respecto a la consideración de los buques de acuerdo con los criterios expuestos al respecto para condiciones de operación correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque. El valor de combinación de la carga de amarre será el valor de combinación de la componente media, multiplicado por el coeficiente de mayoración (ver epígrafe a_3 de este apartado).

- *En condiciones de operación correspondientes al estado límite de operaciones de atraque*

Esta condición de trabajo únicamente se tomará en consideración en aquellos casos en los que el elemento del sistema de amarre considerado o la estructura de atraque pueda recibir las cargas de amarre de atraques contiguos y/o los criterios de explotación de la instalación consideren específicamente la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante las maniobras de atraque y la actuación de dichas cargas sea desfavorable para el modo de fallo analizado.

Para la determinación de las cargas de amarre procedentes de atraques contiguos en esta condición de trabajo operativa, los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque contiguo, así como de las cargas de amarre asociadas, se obtendrán de forma equivalente a lo establecido en condiciones de operación correspondientes a los estados límite de permanencia del buque en el atraque, pero considerando como valores representativos de los agentes actuantes sobre el buque amarrado los correspondientes a los estados límite de realización de las operaciones de atraque, definidos a partir de los valores umbrales límite de los agentes actuantes establecidos, para cada buque y situación de carga del mismo, por el Promotor de la instalación para la realización de las maniobras de atraque.

En el caso de que el Promotor no establezca expresamente los valores umbrales límite de los agentes actuantes para la realización de las maniobras de atraque, será suficiente que defina las condiciones climáticas límite como favorables, moderadas o desfavorables de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.36, considerando que los agentes no contemplados en dicha tabla no limitan esta condición operativa.

El valor de compatibilidad de las cargas de amarre en el punto de amarre considerado en esta condición de trabajo será el valor de combinación definido como el mayor de los valores representativos de dichas cargas asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque contiguo, en las situaciones de carga límite de los buques en dicho atraque, con las simplificaciones admisibles al respecto para las otras condiciones de trabajo operativas.

Para las cargas de amarre debidas a la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante la maniobra de atraque, el valor de compatibilidad en el punto de amarre a tomar en consideración en el estado límite correspondiente a esta condición de trabajo será la carga última de la líneas de amarre utilizada a estos efectos por el buque al que está asociado el valor característico de la energía cedida al sistema de atraque durante la maniobra de atraque (ver apartado 4.6.4.4.3) ⁽¹³³⁾. A falta

(133) Independientemente de su consideración en la condición de operación correspondiente al estado límite de operaciones de atraque, cuando un punto de amarre pueda recibir líneas de amarre que se utilicen como elementos auxiliares durante la maniobra de atraque, deberá verificarse para la carga última de las líneas de amarre utilizadas a estos efectos por todos y cada uno de los buques esperables en el atraque.

de información más precisa podrá considerarse como valor de compatibilidad el correspondiente a la carga última del tipo y tamaño más común de las amarras embarcadas en dicho tipo y tamaño de buque (ver apartado 4.6.4.4.7.1.1.a. Epígrafe: características de las líneas de amarre).

- En condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario

En aquellos casos en los que la presentación de un agente atmosférico o climático marino en el emplazamiento en alguna dirección, para algún buque y situación de carga del mismo, no sea causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque deberá considerarse la posibilidad de actuación de cargas de amarre tanto en condiciones de trabajo extremas como excepcionales cuando sean desfavorables para el modo de fallo analizado.

► *En condiciones extremas*

Únicamente se considerará la actuación de cargas de amarre en condiciones extremas cuando el agente atmosférico o climático marino predominante para la definición del estado en proyecto en condiciones extremas más desfavorable para el modo de fallo analizado no es causa de limitación de la permanencia en el atraque de alguno de los buques pertenecientes a la flota esperable en el mismo ⁽¹³⁴⁾.

Los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre cada uno de los buques y situación de carga límite de los mismos en los que se den las condiciones señaladas, así como de los parámetros que definen la configuración del sistema de amarre que dependen de algún agente actuante, que permiten definir los valores representativos de las cargas de amarre en cada elemento del sistema de amarre, se obtendrán considerando como valor representativo del agente predominante que define el estado meteorológico extremal analizado el valor característico ($T_R = 50$ años obtenido de la función de distribución de extremos marginal de la variable principal que define al agente en la dirección considerada, si se asigna una probabilidad de presentación del modo de fallo analizado en estas condiciones menor o igual al 5%), y como valores representativos del resto de agentes desfavorables para el modo de fallo considerado el valor de combinación (ver apartados 4.1.1.1.1. a. y 4.6.2.1 para la definición de los valores característicos y de combinación), sin superar, en su caso, el límite de operatividad que pudiera estar establecido individualmente para el correspondiente agente para la permanencia del buque en el atraque. En el caso de que se superara se adoptará como valor representativo el citado límite de operatividad. Las direcciones de actuación consideradas, en su caso, para cada una de las variables serán las compatibles con el estado meteorológico de proyecto adoptado para condiciones extremas y las mismas que las adoptadas para el cálculo de los valores representativos de los otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en dicho estado que dependan de los mismos.

El valor de compatibilidad de la componente media de las cargas de amarre en el punto de amarre y defensa considerado, en condiciones extremas, será el valor característico definido como el mayor de los valores representativos de la componente media de dichas cargas asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mis-

(134) Por ejemplo, en el caso de que los niveles de las aguas exteriores no sean causa de limitación de la permanencia de un buque en el atraque, deberá considerarse las condiciones de trabajo extremas y excepcional asociada a la adopción de los niveles de las aguas como agente predominante (valor representativo $T_R = 50$ años y $T_R = 500$ años, respectivamente).

mos, en los que se den las condiciones señaladas para considerar condiciones extremas, con las simplificaciones admisibles al respecto para las otras condiciones de trabajo.

El valor característico de la carga de amarre será el valor característico de la componente media, multiplicado por el coeficiente de mayoración (ver epígrafe a_3 de este apartado).

- ▶ En condiciones excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario

Únicamente se considerará la actuación de cargas de amarre en condiciones excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario cuando dicho agente no es causa de limitación de la permanencia en el atraque de alguno de los buques esperables en el mismo y es el agente predominante para el modo de fallo considerado en condiciones extremas.

Los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre cada uno de los buques y situación de carga de los mismos en los que se den las condiciones señaladas, así como de los parámetros que definen la configuración del sistema de amarre que dependen de algún agente actuante, que permiten definir los valores representativos de las cargas de amarre en cada elemento del sistema de amarre, se obtendrán considerando como valor representativo de la variable principal del agente climático que define la condición de trabajo excepcional analizada su valor característico definido para estas condiciones ($T_R = 500$ años obtenido de la función de distribución de extremos marginal de la variable que define al agente en la dirección considerada, si se asigna una probabilidad de presentación del modo de fallo analizado en estas condiciones menor o igual al 5 %), y como valores representativos del resto de agentes desfavorables para el modo de fallo analizado los valores de compatibilidad establecidos para dicha condición de trabajo (Ver apartados 4.1.1.1.1.b₁ y 4.6.2.1 para la definición de los valores característicos y de compatibilidad), sin superar, en su caso, el límite de operatividad que pudiera estar establecido individualmente para el correspondiente agente para la permanencia del buque en el atraque. En el caso de que se superara se adoptará como valor de compatibilidad el citado límite de operatividad. En lo que respecta a las direcciones de actuación será de aplicación lo señalado al efecto para condiciones extremas.

El valor de compatibilidad de la componente media de las cargas de amarre en el punto de amarre y defensa considerado, en condiciones excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, será el valor característico definido como el mayor de los valores representativos de dichas cargas asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos, en los que se den las condiciones señaladas para considerar condiciones excepcionales, con las simplificaciones admisibles al respecto para las otras condiciones de trabajo.

El valor de compatibilidad de la carga de amarre será el valor de compatibilidad de la componente media, multiplicado por el coeficiente de mayoración (ver epígrafe a_3 de este apartado).

Deberán considerarse sucesivamente todos los agentes atmosféricos o climáticos marinos que no sean causa de limitación de la permanencia de alguno de los buques en el atraque como agentes predominantes para la definición de estados de proyecto en condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario.

- *En condiciones excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico*

El valor de compatibilidad de la componente media de las cargas de amarre en condiciones excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental será el valor frecuente o el cuasi-permanente, en función de que el agente variable predominante en dicha condición de trabajo para el modo de fallo analizado sea o no sea un agente climático y, en el caso de que lo sea, de que sea o no desfavorable para la determinación de las cargas de amarre actuantes en dicha condición de trabajo.

El valor frecuente de la componente media de las cargas de amarre en el punto de amarre y defensa considerado será el mayor de los valores frecuentes asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque en las situaciones de carga límite en las que puedan encontrarse, considerando que la configuración y características del sistema de amarre es la adoptada para condiciones de trabajo operativas. Para cada buque y situación de carga el valor frecuente de la componente media de las cargas de amarre se obtendrá a partir de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque, considerando como valores representativos de los agentes desfavorables que pueden actuar sobre el buque los siguientes:

- En el caso de que un agente climático sea el agente variable predominante en la condición de trabajo excepcional, para la variable principal de dicho agente, siempre que sea desfavorable para la determinación de las cargas de amarre actuantes, el valor de compatibilidad será el valor frecuente; es decir el asociado con una probabilidad absoluta de no excedencia del 85% en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para la permanencia del buque en el atraque que pudiera estar establecido individualmente para dicha variable. En caso de que se superara se adoptará el citado límite de operatividad.
- Para las variables principales de los agentes climáticos de actuación simultánea, desfavorables para la determinación de las cargas de amarre, independientes del agente predominante, el valor de compatibilidad será el valor cuasi-permanente; es decir, el asociado con una probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para la permanencia del buque en el atraque que pudiera estar establecido individualmente para dichas variables. En el caso de que se superara se adoptará el citado límite de operatividad.
- Para las variables no principales tanto del agente predominante como del resto de agentes climáticos de actuación simultánea independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del predominante, el valor de compatibilidad será el correspondiente al cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección adoptados para la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada.
- En esta condición de trabajo no se considerará la participación de agentes operativos para la determinación de la resultante sobre el buque amarrado.

El valor cuasi-permanente de la componente media de las cargas de amarre en el punto de amarre y defensa considerado será el mayor de los valores cuasi-permanentes asociados con cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque en las situaciones de carga límite en las que puedan encontrarse, considerando que la configuración y características del sistema de amarre es la adoptada para condiciones de trabajo operativas. Para cada buque y situación de carga el valor cuasi-permanente de la componente media de las cargas de amarre se obtendrá a partir de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque, considerando como valores representativos de los agentes desfavorables que pueden actuar sobre el buque los siguientes:

- Para las variables principales de los agentes climáticos de actuación simultánea independientes entre sí, desfavorables para la determinación de las cargas de amarre, el valor de compatibilidad será el valor cuasi-permanente; es decir, el asociado con una probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad de permanencia del buque en el atraque que pudiera estar establecido individualmente para dicha variable. En el caso de que se superara se adoptará el citado límite de operatividad.
- Para las variables no principales de los agentes climáticos de actuación simultánea, así como para las variables de los agentes climáticos que pueden considerarse dependientes de otro, el valor de compatibilidad será el correspondiente al cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y , en su caso, dirección adoptados para la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada.
- En esta condición de trabajo no se considerará la participación de agentes operativos para la determinación de la resultante sobre el buque amarrado.

Las direcciones de actuación consideradas para cada uno de las variables serán las compatibles con los estados meteorológicos correspondientes a estas condiciones de trabajo y las mismas que las adoptadas para el cálculo de los valores representativos de los otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en dicho estado que dependan de los mismos.

El valor frecuente y cuasi-permanente de la carga de amarre serán, respectivamente el valor frecuente y cuasi-permanente de la componente media, multiplicado por el coeficiente de mayoración (ver epígrafe a_3 de este apartado).

- *En condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica*

El valor de compatibilidad de las cargas de amarre en condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica será el valor cuasi-permanente, obtenido de acuerdo con lo señalado en el epígrafe anterior.

En el caso de que un punto de amarre pueda recibir cargas de amarre de atraques contiguos en función de las disposiciones de amarre establecidas por criterios de explotación, cuando su actuación sea desfavorable para el modo de fallo analizado se adoptarán como valores de compatibilidad de las cargas de amarre transmitidas por el atraque contiguo las más desfavorables, considerando la flota esperable en dicho atraque, en el estado meteorológico representativo de las condiciones de trabajo consideradas en el atraque analizado.

Los valores representativos de las cargas de amarre, utilizando para su determinación modelos matemáticos analíticos, se resumen en la tabla 4.6.4.65.

■ **Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio**

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que intervengan cargas de amarre y el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación sea la combinación poco probable o fundamental, será de aplicación lo dispuesto para los valores representativos de las mismas en el epígrafe correspondiente a la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos en función de las condiciones de trabajo operativas y extremas consideradas. Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable sea la combinación frecuente o cuasi-permanente se adoptarán como valores

representativos de las cargas de amarre los valores frecuentes y cuasi-permanentes definidos en el citado epígrafe.

Tabla 4.6.4.65. Valores representativos de las componentes medias de las cargas de amarre utilizando modelos matemáticos analíticos para su determinación (Para la verificación de estados límite últimos con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo)

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO
<p>Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes al estado límite de normal permanencia del buque en el atraque (CT I,1)</p>	<p>El mayor valor representativo de la componente media de la carga de amarre, en el elemento de amarre considerado, entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable, en las situaciones límite de carga en el atraque. Siendo el valor representativo de la carga de amarre en cada uno de los buques y situaciones de carga el más desfavorable obtenido a partir de los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado, obtenidos considerando sucesivamente como variable predominante cada una de las variables de los agentes climáticos que limitan esta condición operativa y para el resto de variables actuantes los siguientes valores de compatibilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Variable principal del agente climático predominante: umbral de operatividad establecido para la permanencia del buque en el atraque en la dirección considerada. – Variables principales del resto de agentes climáticos de actuación simultánea desfavorables, independientes del agente predominante: probabilidad absoluta de no excedencia del 50%, en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para el buque que pudiera estar establecido individualmente para el agente en estas condiciones de trabajo. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad. – Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada. – Para los agentes operativos desfavorables: condición límite de explotación o valor máximo previsible.
CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR DE COMBINACIÓN
<p>Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque con buque atracado (CT I,2)</p>	<p>El mayor valor representativo de la componente media de la carga de amarre, en el elemento de amarre considerado, entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable, en las situaciones límite de carga en el atraque. Siendo el valor representativo de la carga de amarre en cada uno de los buques y situaciones de carga el más desfavorable obtenido a partir de los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado, obtenidos considerando los estados meteorológicos representativos de las condiciones de operación correspondiente al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque o desembarque. Es decir considerando los siguientes valores de las variables actuantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Variable principal del agente climático predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque en el buque: umbral de operatividad establecido para la realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque en el buque considerado. – Variables principales del resto de agentes climáticos de actuación simultánea desfavorables, independientes del agente predominante: probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para dicho buque que pudiera estar establecido individualmente para el agente en estas condiciones de trabajo. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad. Las direcciones de actuación de estas variables serán compatibles con las que definen el valor representativo de las acciones de “manipulación de mercancías en el área de operación” o “embarque y desembarque de pasajeros” de actuación simultánea. – Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada. – Para los agentes operativos desfavorables: condición límite de explotación o valor máximo previsible. <p>Deberán tomarse en consideración todas las direcciones de actuación de las variables que sean compatibles con las de las variables que definen el estado meteorológico representativo de las condiciones de operación correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque.</p>

Valores representativos de las componentes medias de las cargas de amarre utilizando modelos matemáticos analíticos para su determinación (Para la verificación de estados límite últimos con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo) (continuación)

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR DE COMBINACIÓN
<p>Condiciones de Trabajo Operativas correspondientes al estado límite de operaciones del atraque (CT1,3)</p>	<p>El mayor representativo de la componente media de la carga de amarre, en el elemento de amarre considerado, entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable, en las situaciones límite de carga en el atraque. Siendo el valor representativo de la carga de amarre en cada uno de los buques y situaciones de carga el más desfavorable obtenido a partir de los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado, obtenidos considerando los estados meteorológicos representativos de las condiciones de operación correspondiente a los estados límite de realización de las operaciones de atraque. Es decir, considerando los siguientes valores de las variables actuantes:</p> <p>PARA LA DETERMINACION DE CARGAS DE AMARRE PROCEDENTES DE ATRAQUES CONTIGUOS ¹⁾</p> <ul style="list-style-type: none"> – Variable principal del agente climático predominante: umbral de operatividad del buque establecido para las operaciones de atraque. – Variables principales del resto de agentes climáticos de actuación simultánea desfavorables, independientes del agente predominante: probabilidad absoluta de no excedencia del 50%, en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para dicho buque que pudiera estar establecido individualmente para el agente en estas condiciones de trabajo. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad. – Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada. – Para los agentes operativos desfavorables: condición límite de explotación o valor máximo previsible. <p>PARA LA DETERMINACION DE CARGAS DE AMARRE DEBIDAS A LA UTILIZACION DE LINEAS DE AMARRE COMO ELEMENTOS AUXILIARES DURANTE LA MANIOBRA DE ATRAQUE ²⁾</p> <ul style="list-style-type: none"> – Carga última de la línea de amarre utilizada a estos efectos por el buque al que está asociado el valor característico de la energía cedida al sistema de atraque durante la maniobra de atraque.
CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO
<p>Condiciones de Trabajo Extremas ³⁾ (CT2)</p>	<p>El mayor valor representativo de la componente media de la carga de amarre, en el elemento de amarre considerado, entre los correspondientes a cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos, considerando como agente climático predominante el que define del estado de proyecto en condiciones extremas analizado, el cual no deber ser causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque. Siendo el valor representativo de la carga de amarre en cada uno de dichos buques y situaciones de carga el más desfavorable obtenido a partir de los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado, obtenidos considerando el estado meteorológico extremal de proyecto adoptado. Es decir, considerando los siguientes valores de las variables actuantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Variable principal del agente climático predominante que define el estado meteorológico extremal: periodo de retorno (T_R) de 50 años obtenido de la función de distribución de extremos marginal en la dirección considerada ⁴⁾. – Variables principales del resto de agentes climáticos de actuación simultánea desfavorables, independientes del agente predominante: periodo de retorno (T_R) de 5 años obtenido de la función de distribución de extremos marginal en la dirección considerada, sin superar, en su caso, el límite de operatividad del buque que pudiera estar establecido individualmente para la permanencia del buque en el atraque. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad. Si la variable puede actuar en varias direcciones y se disponen de regímenes extremales direccionales, el valor de compatibilidad asociado a un sector direccional i será igual al correspondiente al cuantil $[1-p/f(\alpha_i)]$ del régimen direccional de extremos utilizado o a cero si dicho valor es negativo, siendo $f(\alpha_i)$ la frecuencia de presentación del sector direccional i, considerando únicamente las excedencias de los valores umbrales de la variable que definen las condiciones extremales y p la probabilidad de excedencia correspondiente al periodo de retorno de 5 años en la función extremal utilizada. – Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable. – Para los agentes operativos desfavorables: condición límite de explotación o valor máximo previsible. <p>Las direcciones de actuación consideradas de cada una de las variables serán las compatibles con el estado meteorológico que define las condiciones extremales consideradas.</p>

Valores representativos de las componentes medias de las cargas de amarre utilizando modelos matemáticos analíticos para su determinación (Para la verificación de estados límite últimos con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo) (continuación)

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO	
<p>Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario 5) (CT3,1)</p>	<p>El mayor valor representativo de la componente media de la carga de amarre, en el elemento de amarre considerado, entre los correspondientes a cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos, considerando como agente climático predominante el que define el estado de proyecto en condiciones excepcionales analizado, el cual no debe ser causa de limitación de su permanencia del buque en el atraque. Siendo el valor representativo de la carga de amarre en cada uno de dichos buques y situaciones de carga el más desfavorable obtenido a partir de los valores representativos de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado, obtenidos considerando el estado meteorológico extraordinario de proyecto adoptado. Es decir, considerando los siguientes valores de las variables actuantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variable principal del agente climático predominante que define el estado meteorológico excepcional: periodo de retorno (T_R) de 500 años obtenido de la función de distribución de extremos marginal en la dirección considerada. - Variables principales del resto de agentes climáticos de actuación simultánea desfavorables, independientes del agente predominante: periodo de retorno (T_R) de 5 años obtenido de la función de distribución de extremos marginal en la dirección considerada, sin superar, en su caso, el límite de operatividad del buque que pudiera estar establecido individualmente para la permanencia del buque en el atraque. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad. Si la variable puede actuar en varias direcciones y se disponen de regímenes extremales direccionales, el valor de compatibilidad asociado a un sector direccional i será igual al correspondiente al cuantil $[1-p/f(\alpha_i)]$ del régimen direccional de extremos utilizado o a cero si dicho valor es negativo, siendo $f(\alpha_i)$ la frecuencia de presentación del sector direccional i, considerando únicamente las excedencias de los valores umbrales de la variable que definen las condiciones extremales y p la probabilidad de excedencia correspondiente al periodo de retorno de 5 años en la función extremal utilizada. - Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable. - Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable. - Para los agentes operativos desfavorables: condición límite de explotación o valor máximo previsible. <p>Las direcciones de actuación consideradas de cada una de las variables serán las compatibles con el estado meteorológico de proyecto en condiciones excepcionales.</p>	
CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
<p>Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico 6) (CT3,2)</p>	<p>El mayor valor frecuente o el cuasi-permanente de la componente media de la carga de amarre, en el elemento de amarre considerado, entre los correspondientes a cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos. Siendo el valor frecuente o cuasi-permanente de la carga de amarre en cada uno de los buques y situaciones de carga el obtenido a partir de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque en el estado excepcional analizado, considerando como valores representativos de las variables actuantes los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En el caso de que un agente climático sea el agente variable predominante en la condición de trabajo excepcional considerada, para la variable principal de dicho agente: probabilidad absoluta de no excedencia del 85% tomada del régimen medio. - Variables principales del resto de agentes climáticos de actuación simultánea desfavorables, independientes del agente predominante: probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad del buque que pudiera estar establecido individualmente para la permanencia del buque en el atraque. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Variables principales de los agentes climáticos de actuación simultánea independientes entre sí, desfavorables para el modo de fallo analizado: probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad del buque que pudiera estar establecido individualmente para la permanencia del buque en el atraque. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad. - Para las variables no principales de los agentes climáticos de actuación simultánea, así como para las variables de los agentes climáticos que pueden considerarse dependientes de otros: cuantil del 85% o del 15% de la función de

Valores representativos de las componentes medias de las cargas de amarre utilizando modelos matemáticos analíticos para su determinación (Para la verificación de estados límite últimos con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo) (continuación)

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico 6) (CT3,2)	<ul style="list-style-type: none"> – Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante : cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable. – En esta condición de trabajo no se considerará la actuación de agentes operativos sobre el buque amarrado. <p>Las direcciones de actuación consideradas de cada una de las variables serán las compatibles con el estado meteorológico de proyecto en estas condiciones excepcionales.</p>	<p>distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable.</p> <ul style="list-style-type: none"> – En esta condición de trabajo no se considerará la actuación de agentes operativos sobre el buque amarrado. <p>Las direcciones de actuación consideradas de cada una de las variables serán las compatibles con el estado meteorológico de proyecto en estas condiciones excepcionales.</p>
CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CUASI-PERMANENTE	
Condiciones de Trabajo Extremas y Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	<p>El mayor valor cuasi-permanente de la componente media de la carga de amarre, en el elemento de amarre considerado, entre los correspondientes a cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos. Siendo el valor cuasi-permanente de la carga de amarre en cada uno de los buques y situaciones de carga el obtenido a partir de la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque en el estado excepcional analizado, considerando como valores representativos de las variables actuantes los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Variables principales de los agentes climáticos de actuación simultánea independientes entre sí, desfavorables para el modo de fallo analizado: probabilidad absoluta de no excedencia del 50% en el año medio, sin superar, en su caso, el límite de operatividad del buque que pudiera estar establecido individualmente para la permanencia del buque en el atraque. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite de operatividad. – Para las variables no principales de los agentes climáticos de actuación simultánea, así como para las variables de los agentes climáticos que pueden considerarse dependientes de otros: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable. – En esta condición de trabajo no se considerará la actuación de agentes operativos sobre el buque amarrado. <p>Las direcciones de actuación consideradas de cada una de las variables serán las compatibles con el estado meteorológico de proyecto en estas condiciones excepcionales.</p>	
Notas		
<ol style="list-style-type: none"> 1) Para la determinación de las cargas de amarre procedentes de atraques contiguos se considerará la flota esperable en el citado atraque, en las situaciones límite de carga de los buques en dicho atraque. 2) Independientemente de la consideración de cargas de amarre debidas a la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante la maniobra de atraque en condiciones de trabajo correspondiente al estado límite de operaciones de atraque, cuando un punto de amarre pueda recibir este tipo de líneas de amarre deberá también verificarse para la carga última de las líneas de amarre utilizadas a estos efectos por todos y cada uno de los buques esperables en el atraque. 3) Únicamente se considerará la actuación de cargas de amarre en condiciones extremas cuando el agente atmosférico o climático marino predominante para la definición del estado de proyecto en condiciones extremas más desfavorable para el modo de fallo analizado no es causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque. 4) Para probabilidades de fallo mayores del 5%, se adoptará el valor que corresponde a una probabilidad de excedencia en la fase de proyecto igual a la probabilidad de fallo considerada. 5) Únicamente se considerará la actuación de cargas de amarre en condiciones excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario cuando dicho agente no es causa de limitación de la permanencia de alguno de los buques esperables en el atraque y es el agente predominante para el modo de fallo considerado en condiciones extremas. 6) El valor de compatibilidad de las cargas de amarre en condiciones excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico será el valor frecuente o el cuasi-permanente, en función de que el agente variable predominante en dicha condición de trabajo para el modo de fallo analizado sea o no un agente climático y, en el caso de que lo sea, de que sea o no desfavorable para la determinación de las cargas de amarre actuantes en dicha condición de trabajo. 		

■ Para la verificación de modos de parada operativa

El agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada correspondiente a la suspensión de la permanencia del buque en el atraque es el agente “cargas de amarre ($q_{v,46}$)”.

Una vez definidos, en magnitud y dirección, los valores umbral de las variables de los agentes atmosféricos y climáticos marinos y de los agentes operativos que limitan la permanencia en el atraque de cada uno de los buques esperables en el mismo, tomando en consideración todas las causas de suspensión de acuerdo con lo dispuesto en este apartado, la probabilidad de parada se obtendrá calculando la probabilidad absoluta de excedencia en el emplazamiento en el año medio de los valores umbrales de operatividad más restrictivos de dichas variables en cada una de las direcciones tomando en consideración todos los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque.

La probabilidad de parada por dicha causa será la suma de las probabilidades absolutas de excedencia en el año medio de los umbrales de operatividad en cada dirección correspondientes a cada una de las variables predominantes independientes entre sí que limitan la permanencia del buque en el atraque, así como de las probabilidades de excedencia del valor umbral de operatividad adoptado para cada una de las variables dependientes en cada dirección, obtenidas considerando los regímenes medios de las mismas condicionados a la no superación del valor umbral en cada dirección de la variable de la que dependen.

En el caso de que varias variables que limitan la operatividad sean dependientes entre sí se adoptará como predominante aquélla que considerando los umbrales de operatividad en todas las direcciones tiene mayor probabilidad de excedencia en el emplazamiento.

Es decir:

$P_{\text{parada por suspensión de la permanencia del buque en el atraque}} \leq P_{\text{excedencia valores umbrales operatividad variable independiente 1}} + \dots + P_{\text{excedencia valores umbrales operatividad variable independiente n}} + P_{\text{excedencia valores umbrales operatividad variable dependiente 1 condicionada a la no superación de los valores umbrales de operatividad de la variable de la que depende}} + \dots + P_{\text{excedencia valores umbrales operatividad variable dependiente j condicionada a la no superación de los valores umbrales de operatividad de la variable de la que depende}}.$

Con carácter general, considerando la componente direccional:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{parada por suspensión de la permanencia del buque de atraque}} &\leq \sum_{i=1}^N \left\{ [1 - P'(X_{10,i})] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \\
 &+ \dots + \sum_{i=1}^N \left\{ [1 - P'(X_{n0,i})] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \left\{ [1 - P''_{X_j,0,k}(Y_{1j,0,i})] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \\
 &+ \dots + \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \left\{ [1 - P''_{X_j,0,k}(Y_{rj,0,i})] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \dots + \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \left\{ [1 - P''_{X_i,0,k}(Y_{1x_i,0,i})] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \\
 &+ \dots + \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \left\{ [1 - P''_{X_i,0,k}(Y_{ux_i,0,i})] \cdot f(\alpha_i) \right\}
 \end{aligned}$$

Siendo:

$X_{10,i}$: umbral de operatividad de la variable independiente 1, correspondiente al sector direccional i .

$X_{n0,i}$: umbral de operatividad de la variable independiente n , correspondiente al sector direccional i .

$P'(X_{10,i})$: probabilidad condicional de no excedencia del umbral de operatividad de la variable independiente X_1 , correspondiente al sector direccional i (equivalente a la obtenida en el régimen medio direccional marginal de la variable).

$P'(X_{n0,i})$: probabilidad condicional de no excedencia del umbral de operatividad de la variable independiente X_n , correspondiente al sector direccional i (equivale a la obtenida en el régimen medio direccional de la variable).
$f(\alpha_i)$: probabilidad de presentación del sector direccional i .
$Y_{1 X_j,0,i}$: umbral de operatividad de la variable dependiente 1 de la variable independiente X_j , correspondiente al sector direccional i .
$Y_{r X_j,0,i}$: umbral de operatividad de la variable dependiente r de la variable independiente X_j , correspondiente al sector direccional i .
$Y_{1 X_r,0,i}$: umbral de operatividad de la variable dependiente 1 de la variable independiente X_r , correspondiente al sector direccional i .
$Y_{r X_r,0,i}$: umbral de operatividad de la variable dependiente r de la variable independiente X_r , correspondiente al sector direccional i .
$P''_{X_j,0,k}(Y_{1 X_j,0,i})$: probabilidad de no excedencia del umbral de operatividad de la variable dependiente 1 de la variable X_j , correspondiente al sector direccional i , condicionada a la no superación del valor umbral de operatividad de la variable independiente X_j en la dirección k . (135)
$P''_{X_j,0,k}(Y_{r X_j,0,i})$: probabilidad de no excedencia del umbral de operatividad de la variable dependiente r de la variable X_j , correspondiente al sector direccional i , condicionada a la no superación del valor umbral de operatividad de la variable independiente X_j en la dirección k .
$P''_{X_r,0,k}(Y_{1 X_r,0,i})$: probabilidad de no excedencia del umbral de operatividad de la variable dependiente 1 de la variable X_r , correspondiente al sector direccional i , condicionada a la no superación del valor umbral de operatividad de la variable independiente X_r en la dirección k .
$P''_{X_r,0,k}(Y_{u X_r,0,i})$: probabilidad de no excedencia del umbral de operatividad de la variable dependiente u de la variable X_r , correspondiente al sector direccional i , condicionada a la no superación del valor umbral de operatividad de la variable independiente X_r en la dirección k .

En el caso de que pueda considerarse o que, del lado de la seguridad, se considere que todas las variables que limitan la operatividad son independientes entre sí, la formulación anterior se simplifica:

$$P_{\text{parada por suspensión de la permanencia del buque en el atraque}} \leq \sum_{i=1}^N \left\{ [1 - P'(X_{10,i})] \cdot f(\alpha_i) \right\} + \dots + \sum_{i=1}^N \left\{ [1 - P'(X_{n0,i})] \cdot f(\alpha_i) \right\}$$

Si adicionalmente, los valores umbrales de las variables que limitan la permanencia del buque en el atraque no se diferencian según sectores direccionales:

$$P_{\text{parada por suspensión de la permanencia del buque en el atraque}} \leq [1 - P(X_{10})] + \dots + [1 - P(X_{n0})]$$

Siendo $P(X_{n0})$ la probabilidad de no excedencia del nivel X_{n0} , obtenida del régimen medio escalar de la variable X_n .

En el caso de que los valores de operatividad obtenidos no cumplieran con los niveles de operatividad mínimos requeridos inicialmente, deberá modificarse la configuración y características adoptadas inicialmente para el sistema de amarre y defensas, debiéndose obtener los nuevos valores umbrales de operatividad de cada una de las variables actuales asociados con dicha nueva configuración, reiterándose el proceso hasta alcanzar los

(135) Las probabilidades de no excedencia del valor umbral de una variable dependiente, condicionadas a la no superación de un valor de la variable de la que dependen, puede obtenerse fácilmente a partir de la función de densidad conjunta de las variables dependientes entre sí.

niveles de operatividad requeridos. En algunos emplazamientos, los objetivos de operatividad establecidos inicialmente pueden no ser alcanzables por mucho que se modifique la configuración y características del sistema de amarre y defensas. En estos casos deberán reducirse los niveles de operatividad respecto de los establecidos inicialmente, siempre y cuando cumplan con los niveles mínimos exigidos para la instalación de atraque por esta Recomendación.

a₅₂) Para formulaciones probabilistas

Para la verificación mediante formulaciones probabilistas de modos de fallo últimos o de servicio en los que intervengan únicamente las cargas de amarre con otros factores directamente correlacionados con las mismas o éstas conjuntamente con otros factores independientes de las mismas o de los agentes de los que dependen, la función de distribución de las componentes medias de las cargas de amarre en un elemento del sistema de amarre en cada ciclo de sollicitación puede definirse como una función derivada de:

- La función de densidad del parámetro principal que caracteriza la flota de buques esperable en el atraque, así como las funciones de distribución de los distintos parámetros geométricos del buque (áreas transversal y longitudinal emergidas y sumergidas, eslora, calado, ...) condicionadas a cada valor del parámetro principal, para las situaciones límite de carga del mismo (Ver apartado 4.6.4.4.1) ⁽¹³⁶⁾.
- Las funciones de distribución de las distintas variables de los agentes actuantes sobre el buque amarrado en el emplazamiento en el ciclo de sollicitación considerado.
- Los valores nominales de los parámetros que definen la configuración y características del sistema de amarre y defensas para cada buque, cuando no dependen de alguno de los agentes actuantes.
- La relación entre los valores de los parámetros que definen la configuración y características del sistema de amarre y defensas y el valor de los agentes actuantes cuando dependen de ellos.

Dicha función derivada se obtiene por medio del ajuste de una función de distribución a los resultados generados al aplicar a cada conjunto de valores obtenidos de forma aleatoria (p.e. mediante el método de Monte Carlo), las relaciones funcionales que relacionan, mediante la aplicación de los modelos matemáticos analíticos:

- el valor de las variables que caracterizan un agente con la fuerza resultante del mismo sobre cada buque de la flota esperable en el atraque.
- la resultante de las fuerzas exteriores sobre el buque con las cargas de amarre en el elemento del sistema de amarre considerado.

Con carácter general, cada una de las variables principales de los agentes actuantes independientes entre sí se definen mediante las funciones de distribución conjunta (magnitud/dirección) en el ciclo de sollicitación considerado o mediante las funciones de distribución marginales en dicho ciclo únicamente de la magnitud, cuando la dirección de actuación no sea un parámetro que caracterice al agente o cuando la dirección de actuación del mismo tenga el carácter de permanente (Ver ROM I.0-09).

Así mismo, cada una de las variables dependientes de las anteriores se definirá por medio de las funciones de distribución, marginales de la magnitud o conjuntas magnitud/dirección, condicionadas a cada valor y, en su caso dirección, de la variable principal de la que dependen.

(136) Simplificadamente, es admisible que los parámetros geométricos del buque asociados a cada valor del parámetro principal se definan a través de valores nominales, siempre que pueda considerarse como población todos los buques existentes en el mercado correspondientes a una tipología. Estos valores nominales pueden obtenerse para cada tipología de buque a partir de los datos incluidos en la tabla 4.6.4.33.

Dichas funciones de distribución estarán truncadas, en su caso, por el valor umbral límite de operatividad correspondiente al buque considerado definido para la variable en cada dirección en el ciclo de operatividad considerado.

Para el ciclo de solicitud correspondiente a condiciones de trabajo operativas de permanencia del buque en el atraque, las funciones de distribución de las variables principales de los agentes independientes entre sí pueden derivarse de las funciones de densidad de los sectores direccionales (frecuencia de presentación de la variable en los distintos sectores direccionales) y de los regímenes medios marginales direccionales, truncados, en su caso, por el valor umbral límite de operatividad en dicha dirección de la variable definido para la permanencia del buque considerado en el atraque ⁽¹³⁷⁾. En el caso de que no se disponga de regímenes medios direccionales, la distribución conjunta magnitud/dirección podrá obtenerse según lo dispuesto en los apartados 3.7.1.8 a 3.7.1.10 de la ROM 1.0-09.

Para el ciclo de solicitud correspondiente a condiciones de trabajo operativas de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque o de operaciones de atraque será de aplicación lo señalado en el párrafo anterior, considerando en este caso que el truncamiento de las funciones de distribución se produce, en su caso, por los valores umbral límite de operatividad de las respectivas variables definidos para la realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque o para la realización de las operaciones de atraque, respectivamente, en el buque considerado.

Para el ciclo de solicitud correspondiente a condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de una variable climática extraordinaria, las funciones de distribución de las variables principales en una determinada dirección que no son causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque pueden derivarse de los regímenes extremos marginales direccionales y de la frecuencia de presentación de la variable en los distintos sectores direccionales, considerando únicamente las excedencias de los valores umbrales de la variable que definen las condiciones extremas ⁽¹³⁸⁾. En el caso de que no se disponga de regímenes extremos direccionales, la distribución conjunta magnitud/dirección en condiciones extremas podrá obtenerse según lo dispuesto en la ROM 1.0-09. El resto de variables principales de los agentes actuantes independientes se definirán del mismo modo, pero truncadas, en su caso, por el valor umbral límite de operatividad definido en cada dirección para la permanencia del buque considerado en el atraque.

Para los ciclos de solicitud correspondientes a condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental o sísmica, las funciones de distribución de las variables principales de los agentes actuantes independientes entre sí pueden derivarse de las funciones de densidad de los sectores direccionales y de los regímenes medios marginales direccionales, truncados, en su caso, por el umbral límite de operatividad en dicha dirección de la variable definido para la permanencia del buque considerado en el atraque.

Para la verificación mediante formulaciones probabilistas de modos de fallo últimos o de servicio en los que intervengan conjuntamente con las cargas de amarre otros factores (p.e. cargas de manipulación de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros) dependientes de alguno de los agentes de los que éstas dependen (particularmente del buque, de los agentes climáticos, así como de algunos agentes operativos que actúan sobre el buque), con

(137) $P[X > X_i, \alpha_j] = f(\alpha_j) \cdot P[X > X_i | \alpha_j]$, siendo $P[X > X_i | \alpha_j]$ el régimen medio direccional, definido en términos de probabilidad de excedencia, correspondiente al sector direccional α_j (función de supervivencia direccional en el año medio y $f(\alpha_j)$ la frecuencia de presentación de dicho sector direccional (Ver ROM 1.0-09).

(138) $P[X > X_i, \alpha_j] = f(\alpha) \cdot P[X > X_i | \alpha_j]$, siendo $P[X > X_i | \alpha_j]$ el régimen extremal direccional, definido en términos de probabilidad de excedencia, correspondiente al sector direccional α_j y $f(\alpha_j)$ la frecuencia de presentación de dicho sector direccional considerando únicamente las excedencias de los valores umbrales de la variable que definen las condiciones extremas (Ver ROM 1.0-09).

el objeto de considerar valores compatibles de todos los factores que intervienen en el proceso de verificación no se utilizará la función de distribución de las cargas de amarre definida en los párrafos anteriores sino las funciones de distribución de los agentes de los que dependen correspondientes a cada condición de trabajo, aplicando posteriormente las relaciones funcionales que relacionan, mediante la aplicación de los modelos matemáticos analíticos, el valor de las variables que caracterizan los agentes de los que dependen con la fuerza resultante del mismo sobre los buques, así como dicha resultante con las cargas de amarre en el elemento del sistema de amarre considerado.

Un ejemplo de aplicación es cuando un punto de amarre pueda recibir cargas de amarre de atraques contiguos, en los que no se utilizará la función de distribución de las cargas de amarre en dicho punto sino que se partirá de las funciones de distribución de los agentes de los que dependen y de las funciones de densidad que caracterizan la flota de buques esperable en cada uno de los atraques.

Para la verificación mediante formulaciones probabilistas del modo de parada operativa correspondiente a la suspensión de la permanencia del buque en el atraque se utilizarán las funciones de densidad conjunta en el emplazamiento correspondientes a las variables en las cuales se han definido umbrales límite de operatividad para dicho modo de parada, considerando todos los buques y situaciones de carga de los mismos esperables en el atraque. Esta función de densidad puede obtenerse por multiplicación de las funciones de densidad de cada grupo de variables dependientes. Cada uno de estas funciones de densidad puede obtenerse a partir de funciones de densidad marginales de una de las variables, considerada como principal, y de las funciones de densidad de las variables dependientes de ésta, condicionadas a cada valor de la variable principal (Ver apartado 3.7.1.8 de la ROM I.0-09).

Es decir, para cada variable i considerada como principal:

$$f[(X_i, \alpha_i), (X_{1,i}, \alpha_1), \dots, (X_{n,i}, \alpha_n)] = f[X_i, \alpha_i] \cdot [(X_{1,i}, \alpha_1)|(X_i, \alpha_i)] \cdot \dots \cdot f[(X_{i,n}, \alpha_n)|(X_i, \alpha_i)] = f[\alpha_i] \cdot f[X_i|\alpha_i] \cdot f[(X_{i,1}, \alpha_2)|(X_i, \alpha_i)] \cdot \dots \cdot f[(X_{i,n}, \alpha_n)|(X_i, \alpha_i)]$$

La función de densidad conjunta será:

$$\prod_{i=1}^n f[(X_i, \alpha_i), (X_{1,i}, \alpha_1), \dots, (X_{n,i}, \alpha_n)]$$

Se recomienda adoptar como variable principal de cada grupo aquella que más condiciona la operatividad; es decir, aquella que considerando los valores umbrales de operatividad en todas las direcciones tiene una mayor probabilidad de excedencia.

En el caso de que pueda considerarse que todas las variables que limitan la operatividad son independientes entre sí, la función de densidad conjunta se simplifica:

$$f[(X_1, \alpha_1), (X_2, \alpha_2), \dots, (X_s, \alpha_s)] = \prod_{k=1}^s f(X_k, \alpha_k) = \prod_{k=1}^s f[\alpha_k] \cdot f[X_k|\alpha_k]$$

La probabilidad de parada se obtendrá integrando la función de densidad conjunta en el dominio de fallo definido por los valores umbrales de las variables establecidos para la permanencia de la flota de buques en el atraque.

b) Modelos numéricos

Los avances que se han producido en los últimos años en las técnicas y equipos de computación han permitido un tratamiento matemático más completo y riguroso del comportamiento dinámico de un

buque amarrado, permitiendo superar las limitaciones y restricciones asociadas con las hipótesis de partida (p.e. movimientos del buque reducidos) y la falta de fiabilidad de los modelos analíticos, particularmente en aquellos casos en los que las fuerzas resultantes de la actuación de los agentes exteriores sobre el buque presentan componentes frecuenciales significativas con periodos del mismo orden de magnitud que los periodos naturales de oscilación del buque amarrado ⁽¹³⁹⁾. Es decir, particularmente en todos aquellos casos en los que puedan presentarse en el emplazamiento estados de mar, ondas largas o efectos hidrodinámicos generados por buques en tránsito, e incluso estados de viento y corrientes, significativos en relación con el tamaño del buque, independientemente de la configuración física del sistema de amarre, así como en amarraderos de orientación libre o fija o cuando la estructura de atraque sea flotante.

En comparación con los modelos analíticos, los modelos numéricos permiten integrar en el análisis simultáneamente todos los efectos que inciden en la valoración de movimientos de los buques y de las cargas de amarre, incluyendo aquéllos que no pueden abordarse con las formulaciones analíticas disponibles (p.e. efectos de la irregularidad de las variables, de las ondas largas, los efectos de 2º orden, existencia de acoplamientos entre los distintos movimientos...), tomando en consideración las posibles interacciones mutuas entre ellos. Además, con este tipo de modelos se obtienen tanto los movimientos horizontales como verticales totales del buque (componente media + componente de fluctuación) y no únicamente los movimientos horizontales debidos a las componentes medias de los agentes actuantes sobre el buque, lo que permite valorar de forma mucho más precisa los niveles de operatividad de la instalación de atraque.

Por otra parte, este tipo de modelos matemáticos permite obtener de forma directa y con mucha mayor precisión los máximos movimientos, calados dinámicos y cargas de amarre en los distintos elementos que forman el sistema de amarre, que pueden presentarse en un estado meteorológico u operativo, sin necesidad de tener que estimarlos mediante coeficientes de mayoración empíricos a partir de las componentes medias ni de aceptar como hipótesis previa que la respuesta del buque amarrado y, por tanto, los calados dinámicos y las cargas de amarre son función únicamente de las componentes medias de las fuerzas exteriores sino también de todas las componentes frecuenciales significativas presentes en las mismas, así como de otros efectos de 2º orden.

Se han desarrollado dos tipos de modelos matemáticos numéricos para el análisis del comportamiento del buque amarrado: los realizados en el dominio de la frecuencia y los realizados en el dominio del tiempo.

Los modelos numéricos en el dominio de la frecuencia están basados en considerar que el buque amarrado es un sistema lineal caracterizado por los factores de masa, rigidez y amortiguamiento. El comportamiento del mismo puede determinarse mediante la resolución de un conjunto de ecuaciones de la siguiente forma, para cada uno de los seis grados de libertad del buque y cada una de las componentes frecuenciales de las fuerzas forzadoras exteriores actuando sobre el buque en la dirección del movimiento considerado:

$$[M + \alpha(w)] \cdot \frac{\partial^2 x(t)}{\partial t^2} + c(w) \cdot \frac{\partial x(t)}{\partial t} + k \cdot x(t) = R(t)$$

siendo:

M : masa del buque.

$\alpha(w)$: coeficiente de masa hidrodinámica, función de la frecuencia del movimiento considerado del buque.

$c(w)$: coeficiente de amortiguamiento, función de la frecuencia del movimiento del buque.

k : coeficiente de rigidez del sistema, tomando en consideración tanto las fuerzas de restauración hidroestáticas como las debidas al sistema de amarre debidamente linealizadas.

(139) Los órdenes de magnitud de los periodos naturales de oscilación del conjunto buque/sistema de amarre se consignan en las tablas 4.6.4.50 a 4.6.4.57, para cada configuración física del atraque y disposición tipo y características del sistema de amarre.

- $R(t)$: componente frecuencial de las fuerzas forzadoras sobre el buque en la dirección del movimiento considerado. La función de densidad espectral de las fuerzas forzadoras correspondiente a cada agente actuante (oleaje, viento, ...) puede obtenerse acoplando modelos numéricos que correlacionen el agente actuante con la fuerza forzadora generada sobre el buque (p.e. modelos de integración de presiones sobre el buque que consideran la reflexión, difracción y radiación del oleaje por la interacción con un flotador amarrado, así como otros efectos debidos a la profundidad en el emplazamiento (Modelos de difracción. Ver ROM I.0), modelos de cargas de viento (Ver ROM 0.4-95), ...).
- $x(t)$: desplazamiento del buque, correspondiente al movimiento considerado.

Para cada componente frecuencial de la fuerza forzadora la respuesta del buque es también senoidal de igual frecuencia. Considerando todas las componentes se puede obtener la función de densidad espectral de los movimientos del buque y, en función de éstas, las correspondientes a las cargas de amarre.

Los modelos en el dominio del tiempo están basados en la resolución numérica de ecuaciones del tipo siguiente, para cada uno de los seis grados de libertad del buque:

$$(M + m') \cdot \frac{\partial^2 x(t)}{\partial t^2} + \int_{-\infty}^t C(t - \tau) \cdot \frac{\partial x(\tau)}{\partial \tau} \cdot d\tau + K \cdot x(t) = R(t)$$

siendo:

m' y C : representan las fuerzas hidrodinámicas sobre el buque en la dirección del movimiento considerado, para un movimiento arbitrario del mismo y, por tanto, independientes de la frecuencia del movimiento.

Se definen a partir de los coeficientes hidrodinámicos del buque (coeficientes de masa añadida $[\alpha(w)]$ y coeficientes de amortiguamiento $[c(w)]$) como:

$$C(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} c(w) \cdot \cos wt \cdot dw$$

$$m' = \alpha(w) + \frac{1}{w} \int_0^{\infty} C(t) \cdot \text{sen}wt \cdot dt$$

- K : representa la rigidez del sistema en la dirección del movimiento considerado, incluyendo tanto las fuerzas de restauración hidroestáticas como las debidas al sistema de amarre y defensas.
- $R(t)$: componente de la resultante de las fuerzas exteriores forzadoras de cualquier tipo actuando sobre el buque en la dirección del movimiento considerado.

Aunque son más simples y requieren un menor esfuerzo computacional, los modelos numéricos realizados en el dominio de la frecuencia son más limitativos que los realizados en el dominio del tiempo al ser estacionarios, exigir su aplicación que se produzcan desplazamientos reducidos y no tomar en consideración no linealidades en los agentes externos forzadores y comportamientos no lineales de los elementos de amarre y defensas (curvas de comportamiento no lineales), pudiendo dar lugar, en algunos casos, a resultados erróneos particularmente cuando el buque amarrado presenta movimientos significativos o tiene un comportamiento básicamente no lineal (p.e. en este caso pueden presentarse movimientos subarmónicos relevantes de frecuencias diferentes a las presentes en las fuerzas forzadoras), cuando son relevantes ciertos efectos de carácter no lineal que no son simulados por este tipo de modelos (p.e. fuerzas de deriva del oleaje, fuerzas debidas a la onda larga asociada al oleaje, ...) o cuando se presentan fenómenos transitorios como paso de buques, rotura de amarras, ... En algunas tipologías de atraque (p.e. en amarraderos de orientación libre o fija) estos efectos no lineales pueden ser los más relevantes a los efectos del movimiento del buque y de las cargas de amarre. Estas deficiencias son superadas por los modelos numéricos en el dominio del tiempo.

Como en general el comportamiento del buque amarrado es no lineal y además por su mayor versatilidad con respecto a las fuerzas forzadoras actuantes, con carácter general se recomienda preferentemente la utilización de modelos numéricos realizados en el dominio del tiempo.

En la actualidad hay disponibles comercialmente en el mercado modelos numéricos realizados en el dominio del tiempo, fiables y seriamente verificados, que permiten simular la respuesta del buque amarrado tomando en consideración conjuntamente todos los efectos que tienen incidencia en su comportamiento frente a los agentes actuantes sobre el mismo. Estos modelos suelen además llevar integrados otros modelos que permiten correlacionar los distintos agentes actuantes en las proximidades del punto de atraque, definidos en la entrada de datos mediante una serie temporal o su definición espectral (oleaje, viento, corrientes, ondas largas, efectos de paso de buques, ...), con la descripción temporal o espectral de las fuerzas sobre el buque a que dan lugar, tomando en consideración, en su caso, las transformaciones y efectos locales que se producen en los mismos por las características y condiciones de contorno en el emplazamiento, incluyendo los debidos al movimiento del propio buque.

Por tanto, la aplicación de modelos numéricos se considera como muy conveniente y obligada en aquellos casos que excedan del rango de validez de los modelos analíticos y no se puedan aplicar modelos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados por ausencia de datos, o se considere necesario analizar los movimientos de los buques y las cargas de amarre en situaciones de emergencia (p.e rotura de amarras o auxilio de remolcadores para mantener el buque en el atraque), las cuales no son modelizables de forma fiable mediante la aplicación de otro tipo de modelos. Asimismo es conveniente su aplicación previamente a la utilización de modelos experimentales, con el objeto de contrastar los resultados obtenidos en ambos tipos de modelos y complementar las limitaciones asociadas con cada uno de ellos. Particularmente debe hacerse cuando sea recomendable la utilización de modelos experimentales por no considerarse totalmente fiables los numéricos utilizados debido, por ejemplo, a que los modelos de correlación entre agentes actuantes y fuerzas forzadoras que lleva incorporados el modelo numérico no son capaces ni de introducir ni de reproducir correctamente los efectos causados por las condiciones morfológicas y de contorno existentes en el emplazamiento (p.e. batimetrías muy irregulares o peraltadas en la zona del atraque, condiciones de contorno complejas, resguardos bajo quilla muy limitados menores del 10% del calado del atraque, estructuras de atraque discontinuas o parcialmente reflejantes, ...).

Los modelos numéricos permiten obtener como resultado los registros completos de los movimientos del buque, así como de las cargas en líneas de amarre y defensas, asociados con los estados meteorológicos y operativos considerados, introducidos en el modelo a través de las descripciones espectrales y/o temporales en el emplazamiento de los agentes que actúan simultáneamente. No se considerarán representativos los resultados correspondientes a un estado meteorológico estacionario que no simule un mínimo de tiempo equivalente a 3 horas en prototipo. Cuando deba considerarse un estado operativo transitorio (p.e. consideración de efectos hidrodinámicos inducidos por el paso de buques en tránsito) de actuación simultánea que el estado meteorológico pero de menor duración que el mismo, deberá considerarse la actuación del agente operativo aleatoriamente en diferentes momentos temporales de la simulación (mínimo 3) con el objeto de que pueda analizarse su influencia en la respuesta del buque y del sistema de amarre en diferentes posiciones de equilibrio.

Para cada tipo de buque y situación de carga del mismo, configuración y características del sistema de amarre, y estado meteorológico u operativo considerados, a partir de dichos registros se pueden obtener los siguientes resultados:

- ◆ Series temporales de movimientos (6), de las cargas en líneas de amarras y de las reacciones en las defensas, así como las variables de estado o parámetros estadísticos que las caracterizan [valor medio, valor significativo de los valores máximos secuenciales ⁽¹⁴⁰⁾ de los movimientos del buque y de las cargas de amarre (también pueden definirse de la amplitud de los movimientos del buque y de la amplitud de las componentes de fluctuación de las cargas de amarre en el caso de que las líneas de amarre se mantengan en tensión, así como en el caso de que las defensas se mantengan comprimidas, en todo momento), valores máximo y mínimo de la serie, valor máximo más probable, periodo medio,...] (Ver figura 4.6.4.38).

(140) Se entiende por valores máximos secuenciales al conjunto formado por el valor máximo en cada periodo o, en su caso, impacto consecutivo (valores en cresta).

- ◆ Funciones de densidad espectral de las amplitudes de los movimientos horizontales (3) y verticales (3) del buque amarrado y de la componente de fluctuación de las cargas en cada línea de amarre y en cada una de las defensas cuando éstas se mantienen en tensión o comprimidas respectivamente en todo momento, así como los parámetros espectrales (valor significativo espectral, periodo de pico, periodos dominantes en el rango de bajas y altas frecuencias, ...) asociados a las mismas (Ver figura 4.6.4.39).

A partir de las series temporales registradas correspondientes al estado meteorológicos u operativo considerado, se adoptarán como valores máximos más probables los correspondientes a la moda (valor más frecuente) de la función de densidad de dichos valores máximos $[g_{X_{max}}(x)]$ (Ver apartado 3.7.4.1 de la ROM 1.0-09). Es decir:

$$G_{X_{max}}(x) = [F_X(x)]^n$$

$$g_{X_{max}}(x) = n \cdot [F_X(x)]^{n-1} \cdot f_X(x)$$

Siendo:

- $G_{X_{max}}(x)$: la función de distribución de la variable X_{max} . (141)
- $f_X(x)$: la función de densidad de la variable X ajustada a partir de los datos obtenidos del correspondiente registro, siendo X los valores máximos secuenciales del movimiento del buque o de la carga en la línea de amarre o defensa considerada (142).
- $F_X(x)$: la función de distribución de la variable X . (143)
- n : el tamaño muestral en el ciclo de sollicitación (condición de trabajo) considerado (nº de ciclos de movimientos del buque o nº periodos de las cargas de amarre o, en su caso, nº de impactos en dicho ciclo de sollicitación). Depende de la duración del ciclo de sollicitación considerado (Δt) y del periodo medio \bar{o} , en su caso, del tiempo medio entre dos impactos, de la variable X (\bar{T}_X). Es decir, $n = \Delta t / \bar{T}_X$.

Para condiciones de trabajo de permanencia del buque en el atraque y de realización de las operaciones de carga y descarga puede considerarse como duración del ciclo de sollicitación la plancha unitaria media del buque (tiempo de permanencia medio del buque en el atraque). Para condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario puede adoptarse como duración del ciclo de sollicitación la duración del temporal (Ver apartado 3.7.3.6.1 de la ROM 1.0-09 sobre formas sintéticas de evolución del temporales asociados con el agente oleaje).

Sin perjuicio de lo anterior para la definición del parámetro n es admisible considerar con carácter general el número de ciclos presentes en el intervalo de tiempo de 3 horas.

(141) Tanto para movimientos como para cargas de amarre, algunos autores consideran que la función de distribución de la variable X_{max} se ajusta razonablemente a la función de distribución de Rayleigh, elevada al número de ciclos n . Con esta hipótesis, el valor máximo más probable es el correspondiente a la moda de dicha distribución, la cual puede aproximarse mediante la expresión:

$$\hat{X}_{MAX} \cong 0,076 \cdot \sqrt{\ln(n)} \cdot X_s,$$

siendo X_s el valor significativo de la variable X .

- (142) La obtención de los valores máximos más probables a partir de las series temporales registradas, mediante la metodología señalada, también es aplicable cuando se adopta como variable X la amplitud de la correspondiente componente de fluctuación (amplitud del movimiento del buque o de la componente de fluctuación de la carga en el caso de que las líneas de amarre o las defensas se mantengan en tensión o comprimidas, respectivamente, en todo momento). En ese caso los valores máximos más probables de movimientos y cargas serán los valores medios más $\frac{1}{2}$ de la moda de la función de densidad de los valores máximos de la amplitud de dichas componentes de fluctuación.
- (143) Tanto para movimientos como para cargas de amarre, algunos autores consideran que la función de distribución de la variable X se ajusta razonablemente a la función de distribución de Rayleigh. En la práctica es admisible considerar, simplícidamente, el siguiente ajuste: $\log[F_X(x)] = A \cdot X^C + B$, siendo A y B parámetros de ajuste lineal, adoptando los siguientes valores del exponente C : 1 para movimientos y 2 para cargas.

Figura 4.6.4.38. Ejemplo de series temporales de movimientos y cargas en líneas de atraque obtenidas mediante la aplicación de modelos numéricos

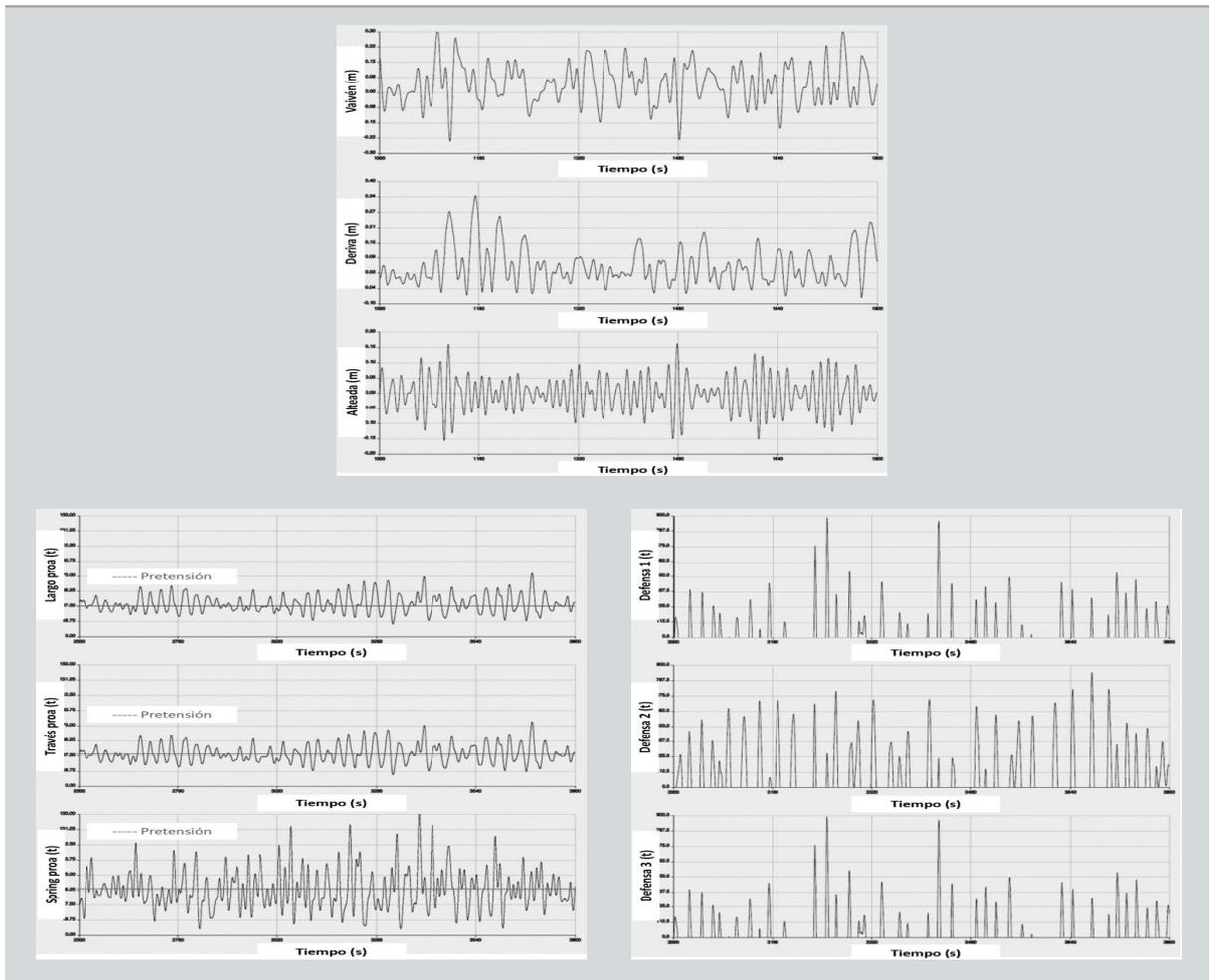
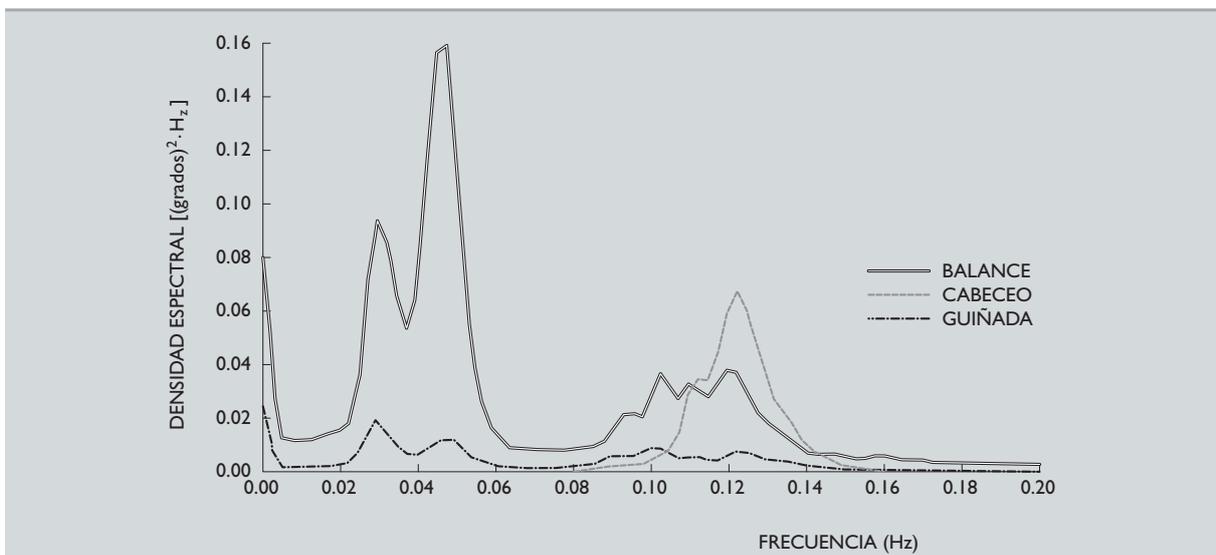


Figura 4.6.4.39. Ejemplo de funciones de densidad espectral de las amplitudes de los movimientos de giro de un buque amarrado, obtenidas mediante modelos numéricos



b₁) Definición de las situaciones a simular en los modelos numéricos

b₁₁) Definición de buques y configuraciones de amarre

Los buques a considerar serán los pertenecientes a la flota esperable en el atraque definida por el Promotor de la instalación, en las situaciones límite de carga consideradas. Como mínimo deberán considerarse para cada tipología diferenciada de buque perteneciente a dicha flota (petrolero, gasero, granelero portacontenedores,...), los buques de mayor y menor desplazamiento máximo incluidos en la misma, en las situaciones límite de carga consideradas. Si el Promotor no define expresamente las condiciones límite de carga se considerarán los buques tanto en situación de plena carga como en lastre.

Para cada uno de los buques y condiciones de carga a tomar en consideración en la simulación, se definirá la configuración y características del sistema de amarre y defensas de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.4.4.7.1.1 de esta Recomendación (Definición de la configuración y características del sistema de amarre y defensas) en cada una de las condiciones de trabajo. Para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario es admisible considerar complementariamente como parte del sistema de amarre el auxilio de remolcadores.

En el primer ciclo de simulaciones, todas los correspondientes a cada buque y condición de carga del mismo en una condición de trabajo se realizarán considerando la misma configuración y características del sistema de amarre y defensas establecidas para dicha condición, sin perjuicio de que, en función de los resultados obtenidos, se realicen nuevos ciclos de simulaciones modificando la configuración o diferenciándola únicamente para determinados estados meteorológicos (p.e. cuando se alcancen estados meteorológicos clasificados como Tipo III a los efectos de la permanencia del buque en el atraque) con el objeto de aumentar las ventanas de operatividad de la instalación, si es posible, hasta los niveles mínimos inicialmente requeridos para dicha condición de trabajo o hasta conseguir los mejores resultados posibles.

b₁₂) Definición de los estados meteorológicos y operativos

Los estados meteorológicos a simular se seleccionarán considerando sucesivamente cada uno de los agentes climáticos actuantes sobre el buque amarrado en el emplazamiento (viento, corrientes, oleaje, niveles de las aguas exteriores, ondas largas, ...) como predominante y cada uno de los parámetros que los definen (p.e. altura de ola, y periodo del oleaje en el caso del agente climático oleaje) como principal. El agente predominante, así como el resto de agentes de actuación simultánea con el mismo (tanto dependientes como independientes del predominante), se definirán a través de sus descripciones estadísticas o espectrales que los caracterizan en el emplazamiento, asociadas a determinados valores de sus parámetros estadísticos o espectrales que se establecen en función de la condición de trabajo considerada.

◆ Para condiciones de trabajo operativas

Los estados meteorológicos a simular para condiciones de trabajo operativas se definirán con el objetivo de averiguar los estados meteorológicos y operativos que limitan la operatividad de cada uno de los buques en la instalación de atraque, para cada una de las condiciones de trabajo operativas en las que puede encontrarse el buque amarrado, considerando todas las causas que pueden dar lugar a cada uno de los modos de parada operativa ⁽¹⁴⁴⁾. Para ello se seguirá el siguiente procedimiento metodológico general:

(144) – Para la condición de trabajo operativa correspondiente al estado límite de permanencia del buque en el atraque: ver epígrafe a₄) del apartado 4.6.4.4.7.1.3.

– Para la condición de trabajo operativa correspondiente al estado límite de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros: ver apartados 4.6.4.2.1 y 4.6.4.2.3, respectivamente.

– Para la condición de trabajo operativa correspondiente al estado límite de operaciones de atraque: ver apartado 4.6.4.4.3.

- Los estados meteorológicos a simular asociados con cada agente climático adoptado como predominante y parámetro principal del mismo adoptado como principal serán los correspondientes a los siguientes cuatro valores de los parámetros estadísticos o espectrales adoptados como principales:
 - Probabilidad absoluta de excedencia del 15 %.
 - Probabilidad absoluta de excedencia del 5 %.
 - Probabilidad absoluta de excedencia del 1 %.
 - Probabilidad absoluta de excedencia del 0.1 %.

en el año medio en el emplazamiento, en cada una de las direcciones de actuación en las que, en su caso, pueda presentarse dicho parámetro (Ver nota 41). Como mínimo se diferenciarán cuatro sectores direccionales, dos centrados con la dirección del eje longitudinal del buque y dos con la dirección perpendicular al mismo, considerando, cuando sea relevante, sentidos opuestos. En el caso de que el parámetro principal no tenga componente direccional, los niveles de excedencia se obtendrán directamente en el régimen medio escalar.

- Para cada valor del parámetro principal del agente predominante, se adoptarán como valores del resto de parámetros que definen al mismo, así como para los parámetros del resto de agentes climáticos de actuación simultánea dependientes del agente predominante, los correspondientes a un cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de dicho parámetro, condicionada al valor y, en su caso, dirección adoptados para el parámetro principal del agente predominante, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores del parámetro correlacionado.
- Para los parámetros principales de los agentes climáticos desfavorables simultáneos, independientes del predominante, se adoptarán como valores de compatibilidad los valores cuasi-permanentes del mismo (Ver tablas 4.6.2.2. y 4.6.4.65). En el caso de que el parámetro principal del agente independiente del predominante pueda actuar según varios sectores direccionales, se adoptará como dirección y sentido de actuación del mismo el que pueda dar lugar a los efectos analizados más desfavorables tomando en consideración la dirección de actuación del parámetro principal del agente predominante. Simplificadamente puede adoptarse como dirección y sentido de actuación del mismo el más próximo al adoptado para el parámetro principal del agente predominante. Para el resto de parámetros de dichos agentes se aplicará lo dispuesto en el epígrafe anterior a partir de las funciones de distribución de dichos parámetros condicionadas al valor del parámetro principal.
- Los estados operativos de actuación simultánea con los estados meteorológicos, se simularán considerando como valor de su parámetro principal el asociado a las condiciones límite de explotación de la instalación o a los valores máximos previsible para el mismo.
- **SIMPLIFICACIONES**

El Proyectista podrá reducir los estados meteorológicos y operativos a simular surgidos del procedimiento metodológico general establecido en este epígrafe, en función de las condiciones existentes en el emplazamiento.

Como criterio general podrán eliminarse los estados meteorológicos en los que el valor del parámetro principal del agente adoptado como predominante asociado a una dirección y a un nivel absoluto de excedencia en el emplazamiento de la instalación de atraque se encuentre muy por debajo de los valores umbrales

generales establecidos para cada una de las condiciones operativas en las tablas 3.2.1.3 y 4.6.4.49 de esta Recomendación. No obstante lo anterior, no se eliminará el estado meteorológico asociado a la consideración del nivel de las aguas exteriores como variable predominante como mínimo con el valor asociado a una probabilidad de presentación del 0,1%, con el objeto de verificar que en este estado meteorológico no se produce la suspensión de la permanencia del buque en el atraque por insuficiencia de calado y la paralización de la realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros por rebases de las aguas exteriores o por insuficiencia de alturas de elevación del equipo de manipulación. En el caso de que estos modos de parada se produjeran con este nivel de probabilidad, deberán también considerarse los estados meteorológicos asociados con el resto de probabilidades de presentación del nivel de las aguas exteriores.

- ◆ *Para condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario*

En aquéllos casos en los que, una vez simuladas las condiciones de trabajo operativas, la presentación del parámetro principal del agente climático adoptado como predominante en alguna dirección no sea causa de limitación de la permanencia de alguno de los buques esperables en el atraque, así como en aquellos casos en los que se considere o tenga que considerarse la permanencia de los buques en el atraque en cualquier situación, deberán simularse estados meteorológicos asociados a condiciones de trabajo extremas y excepcionales asociados a dicho parámetro en dicha dirección, considerando únicamente su aplicación a los buques de la flota esperable en el atraque y situaciones de carga de los mismos en los que se produce dicha circunstancia.

Los estados meteorológicos a simular serán como mínimo los correspondientes a los siguientes valores de su parámetro principal:

- Periodo de retorno (T_R) de 50 años, obtenido de la distribución de extremos marginal de dicho parámetro en la dirección considerada (para probabilidades de presentación del modo de fallo analizado en condiciones extremas menor o igual al 5%).
- Periodo de retorno (T_R) asociado con una probabilidad de presentación igual a la probabilidad de fallo considerada para el modo de fallo analizado, tomado de la distribución de extremos marginal de dicho parámetro en la dirección considerada (para probabilidades de presentación del modo de fallo analizado en condiciones extremas mayor al 5%).

En el caso de que las probabilidades de presentación asignadas a los diferentes modos de fallo analizados no sean las mismas, se simularán estados meteorológicos asociados con periodos de retorno del parámetro principal de 50, 100 y 300 años, siendo también admisible la interpolación lineal entre los valores máximos más probables de las cargas de amarre y movimientos correspondientes a cada simulación.

- Periodo de retorno (T_R) de 500 años, obtenido de la distribución de extremos marginal de dicho parámetro en la dirección considerada.

Para el resto de parámetros del agente predominante, así como de los agentes desfavorables de actuación simultánea, tanto dependientes como independientes del predominante, se adoptarán los valores de compatibilidad establecidos para la condición de trabajo considerada (ver tabla 4.6.4.65 y apartados 4.1.1.1.1. a. y b_1), sin superar, en su caso, el límite de operatividad que pudiera estar establecido individualmente para el correspondiente agente para la permanencia del buque en el atraque.

- ◆ *Para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una situación de emergencia del buque amarrado*

Los estados meteorológicos a considerar para la simulación de situaciones de emergencia serán los mismos que los contemplados para condiciones de trabajo operativas o para condiciones extremas o extraordinarias debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, en función del estado meteorológico en el que se considera que se puede producir la situación de emergencia.

El Promotor de la instalación señalará expresamente las situaciones de emergencia en las que desea verificar la seguridad de los buques y de la instalación de atraque, así como las condiciones de trabajo en las que puede producirse la situación de emergencia. No obstante, en cualquier caso es recomendable considerar como condición de trabajo excepcional las siguientes situaciones de emergencia:

- rotura de la línea de amarre más cargada en condiciones de trabajo operativas y condiciones extremas sin considerar; complementariamente al sistema de amarre definido para dichas condiciones, el auxilio de remolcadores.
- rotura de la línea de amarre más cargada en condiciones de trabajo excepcionales debida a la presentación de un agente climático extraordinario, considerando la configuración y características del sistema de amarre adoptadas para dicha condición de trabajo.

Cuando, como resultado de estas simulaciones, se concluyera la rotura de nuevas líneas de amarre o de defensas, se analizará la posibilidad de que se presenten situaciones de colapso progresivo por rotura sucesiva de las líneas de amarre y defensas. En el caso de que se produjera esta situación en una determinada condición de trabajo, deberá quedar garantizado el abandono de emergencia del buque del puesto de atraque de forma segura en dicha condición de trabajo.

- ◆ *Para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico*

En el caso de que un agente climático sea el agente variable predominante en la condición de trabajo excepcional considerada, los estados meteorológicos a simular serán los asociados con el valor frecuente del parámetro principal de dicho agente. Es decir, los asociados con una probabilidad absoluta de no excedencia del 85% en el año medio, en cada una de las direcciones de actuación en las que pueda presentarse dicho parámetro, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para el buque simulado que pudiera estar establecido individualmente para dicho parámetro en la dirección considerada. En caso de que se superara se adoptará el citado límite de operatividad. Para el resto de parámetros de dicho agente, así como de los agentes climáticos desfavorables de actuación simultánea se adoptarán los valores de compatibilidad establecidos para esta condición de trabajo (ver tabla 4.6.4.65 y apartado 4.1.1.1.1. b₂).

En el caso de que un agente climático no sea el agente variable predominante en la condición de trabajo excepcional considerada, los estados meteorológicos a simular serán los asociados con el valor cuasi-permanente de los parámetros principales de los agentes climáticos independientes entre sí. Es decir los asociados con una probabilidad absoluta de no excedencia del 50 % en el año medio en la dirección de actuación considerada, sin superar, en su caso, el límite de operatividad para el buque simulado que pudiera estar establecido individualmente para los mismos en dicha dirección. Para el resto de parámetros de dichos agentes se adoptarán los valores de compatibilidad establecidos para esta condición de trabajo (ver tabla 4.6.4.65 y apartado 4.1.1.1.1. b₂).

En esta condición de trabajo no se considerará la actuación de agentes operativos.

- ◆ *En condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica*

Los estados meteorológicos a simular para condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica serán los asociados con el valor cuasi-permanente de los parámetros principales de los agentes climáticos independientes entre sí, definidos de acuerdo con lo señalado en el epígrafe anterior (Ver tabla 4.6.4.65. y apartado 4.1.1.1.1. b₃).

En esta condición de trabajo tampoco se considerará la actuación de agentes operativos.

b₂) Definición de las condiciones límite de operatividad mediante modelos numéricos

Las condiciones límite de operatividad se obtendrán a partir de los resultados obtenidos por la simulación de cada uno de los estados meteorológicos y operativos definidos para condiciones de trabajo operativas, sobre cada uno de los buques, en las situaciones límite de carga y con las configuraciones de amarre consideradas, a través del siguiente procedimiento sistemático:

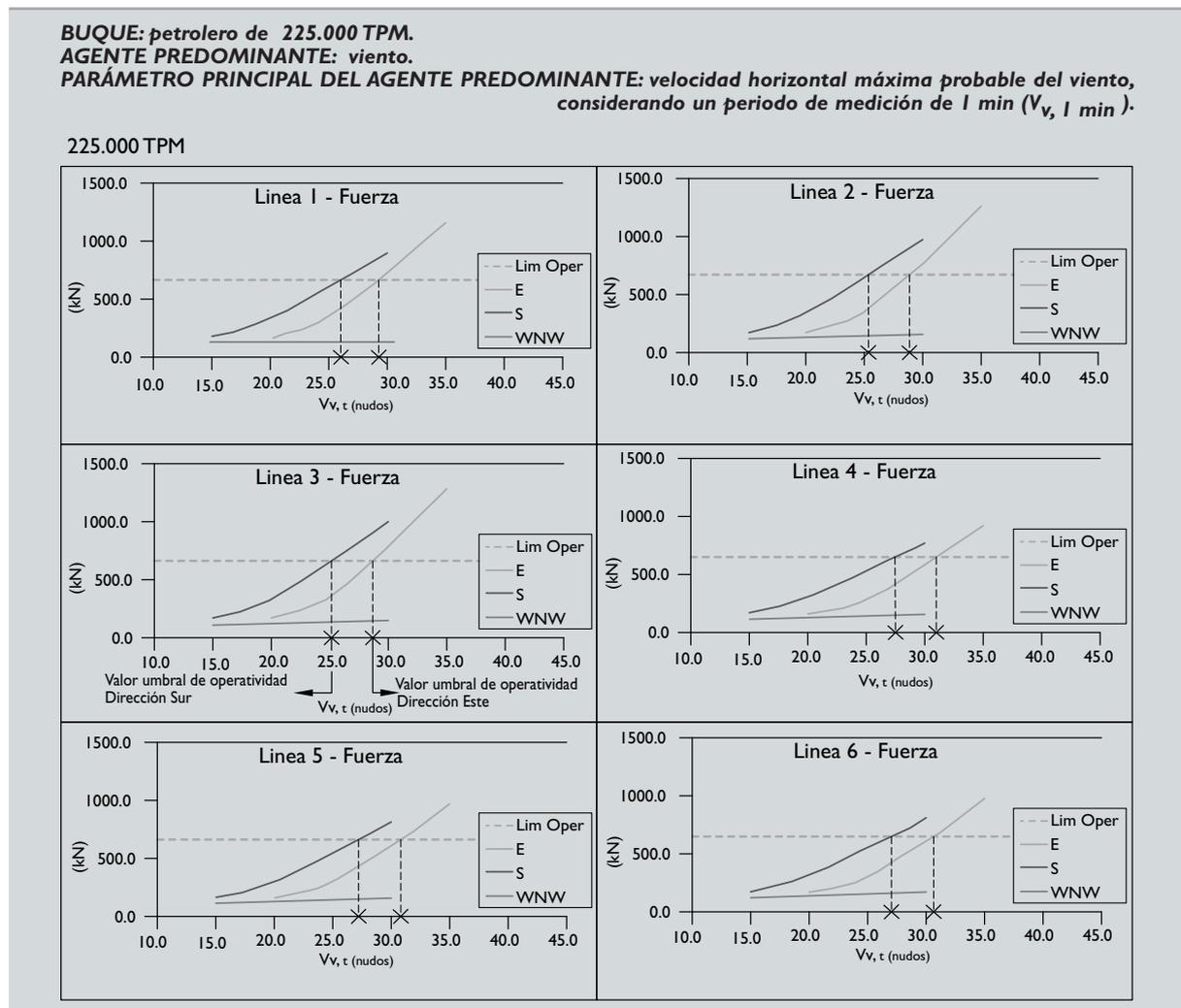
- ◆ Se determinarán los valores máximos más probables de movimientos del buque y cargas de amarre en cada elemento del sistema de amarre correspondientes a cada simulación, de acuerdo con lo dispuesto en este apartado.
- ◆ Para cada buque y situación límite de carga del mismo, a partir del conjunto de simulaciones pertenecientes a una misma condición de trabajo asociadas con un mismo parámetro principal del agente climático u operativo adoptado como predominante actuando en una dirección determinada, se obtendrán las relaciones entre los valores máximos más probables de cada uno de los movimientos del buque y de cada una de las cargas de amarre en líneas de amarre y defensas y el parámetro principal del agente adoptado como predominante. A los efectos de obtención de dichas funciones es admisible la interpolación/extrapolación considerando los valores máximos más probables correspondientes a cada simulación. Dicha interpolación/extrapolación podrá ser lineal, parabólica o de otro tipo en función de su mejor adaptación a los resultados obtenidos. Es recomendable introducir en la interpolación/extrapolación el valor “cero”, sin movimiento pero con pretensión de las líneas de amarre.
- ◆ Para cada buque y situación límite de carga del mismo, así como para cada parámetro principal del agente adoptado como predominante actuando en una dirección determinada, se obtendrá el valor límite de operatividad de dicho parámetro principal en una condición de trabajo operativa como el menor valor resultante de la aplicación de todas las causas de suspensión o paralización asociadas con dicha condición de trabajo a las funciones anteriores. Las causas de suspensión o paralización a considerar para cada condición de trabajo operativa se recogen, respectivamente, en los apartados 4.6.4.2.1, 4.6.4.2.3, 4.6.4.4.3.1.1 y 4.6.4.4.7.1.3.a₄ de esta Recomendación (Ver figura 4.6.4.40).
- ◆ Para cada parámetro principal de cada agente adoptado como predominante actuando en una dirección determinada, el valor límite de operatividad de dicho parámetro principal en una condición de trabajo operativa, a los efectos del cálculo de los niveles de operatividad de la instalación de atraque, será el menor de los valores límites de operatividad obtenidos para dicha condición operativa, considerando todos los buques y situaciones de carga de los mismos que se simulan.
- ◆ Para cada buque y situación límite de carga, el estado meteorológico u operativo límite de operatividad en una condición operativa, correspondiente a un parámetro principal del agente adoptado como predominante actuando en una dirección determinada, será el definido por el valor límite de operatividad para dicho buque de dicho parámetro principal del agente predominante y por los valores de compatibilidad del resto de parámetros del agente predominante, así como

del resto de agentes desfavorables de actuación simultánea, tanto dependientes como independientes del predominante.

- ◆ En el caso de que, en un estado meteorológico u operativo límite de operatividad en una condición operativa asociado con un determinado buque y situación de carga del mismo, el valor de compatibilidad de alguna del resto de variables que definen el agente predominante o el resto de agentes sea superior al límite de operatividad obtenido para la misma en dicha condición de trabajo, se reiterará el proceso una vez redefinidos los estados meteorológicos u operativos a simular de forma que los valores de compatibilidad adoptados para los parámetros no principales del agente predominante y para los parámetros del resto de agentes no superen los límites de operatividad de los mismos para el buque considerado.

Una vez obtenidos los valores umbrales de operatividad de cada uno de los parámetros que definen los agentes climáticos y operativos en la condición de trabajo operativa considerada por medio de esta metodología, la determinación de los niveles de operatividad de la instalación de atraque asociados con dicha condición de trabajo se realizará por medio del procedimiento señalado a efectos para la verificación de modos de parada operativa mediante modelos analíticos en el epígrafe a₅₁.

Figura 4.6.4.40. Ejemplo de obtención de valores límite de operatividad mediante modelos numéricos considerando únicamente la suspensión de la permanencia del buque en el atraque por superación de cargas admisibles en líneas de amarre



b₃) Definición de las cargas de amarre mediante modelos numéricos

b₃₁) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilista

Para la verificación de modos de fallo últimos o de servicio mediante formulaciones deterministas y deterministas-probabilistas, las cargas de amarre se obtendrán a partir de los resultados obtenidos por la simulación de cada uno de los estados meteorológicos y operativos definidos para cada condición de trabajo, sobre cada uno de los buques, en las situaciones de carga y con las configuraciones de amarre consideradas, a través del siguiente procedimiento sistemático:

- ◆ Se determinarán los valores máximos más probables de las cargas de amarre en cada elemento del sistema de amarre correspondientes a cada simulación, de acuerdo con lo dispuesto en este apartado.
- ◆ Para cada buque y situación límite de carga del mismo, a partir del conjunto de simulaciones correspondientes a una misma condición de trabajo asociadas con un mismo parámetro principal del agente climático u operativo adoptado como predominante actuando en una dirección determinada, se obtendrán las relaciones entre los valores máximos más probables de cada una de las cargas de amarre en líneas de amarre y defensas y el parámetro principal del agente adoptado como predominante. A los efectos de obtención de dichas funciones es admisible la interpolación/extrapolación entre los valores máximos más probables correspondientes a cada simulación. Dicha interpolación/extrapolación podrá ser lineal, parabólica o de otro tipo en función de su mejor adaptación a los resultados obtenidos.
- ◆ Para cada buque y situación de carga del mismo, a partir del conjunto de funciones definidas en el párrafo anterior para cada uno de los parámetros, correspondientes a una misma condición de trabajo, se identificará en cada elemento del sistema de amarre la mayor carga de amarre considerando los siguientes dominios:
 - *Para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque:* el dominio de operatividad para dicha condición de trabajo. Es decir, el dominio definido por los valores inferiores a los umbrales de operatividad establecidos para cada variable, en cada dirección, para la permanencia del buque considerado en el puesto de atraque, de acuerdo con el procedimiento señalado en el epígrafe b₂ de este apartado.
 - *Para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque:* de entre los estados meteorológicos incluidos en el dominio de operatividad para dicha condición de trabajo, es decir el dominio definido por los valores inferiores a los umbrales de operatividad establecidos para cada variable, en cada dirección, para la realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque, se considerarán únicamente los estados meteorológicos compatibles con el definido como representativo de la condición de trabajo operativa correspondiente a la realización de operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque adoptado para dicho buque a los efectos de la determinación de las cargas de manipulación de mercancías o de embarque y desembarque de pasajeros (Ver apartados 4.6.4.2.1 y 4.6.4.2.3).
 - *Para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de operaciones de atraque (para la obtención de cargas de amarre procedentes de atraques contiguos):* el dominio de operatividad para dicha condición de trabajo, aplicado a las funciones definidas para cada uno de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque contiguo, siempre y cuando los umbrales de operatividad correspondientes a la permanencia de los buques en el atraque contiguo sean mayores o iguales que los correspondientes a las operaciones de atraque para el buque analizado en el atraque considerado. Es decir,

en este caso el dominio de operatividad considerado será el definido por los valores inferiores a los umbrales de operatividad establecidos para cada variable, en cada dirección, para la realización de las operaciones de atraque por el buque considerado de la flota esperable en el atraque analizado (Ver apartado 4.6.4.4.3), aunque aplicado a las funciones definidas para los buques esperables en el atraque contiguo.

- *Para condiciones de trabajo extremas:* de entre los estados meteorológicos pertenecientes a la función definida para condiciones extremas y excepcionales debida a la presentación de un agente climático extraordinario, se considerará el valor correspondiente al estado meteorológico definido como representativo de la condición de trabajo extremal adoptada a los efectos de la determinación del resto de cargas de actuación simultánea en dicha condición. Únicamente será de aplicación a los buques en los que el agente climático predominante para la definición del estado de proyecto en condiciones extremas considerado no es causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque.
- *Para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario:* de entre los estados meteorológicos pertenecientes a la función definida para condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, se considerará el valor correspondiente al estado meteorológico definido como representativo de la condición de trabajo excepcional adoptada a los efectos de la determinación del resto de cargas de actuación simultánea en dicha condición. Únicamente será de aplicación a los buques en los que el agente climático que define del estado de proyecto en condiciones excepcionales considerado no es causa de limitación de la permanencia del buque en el atraque.
- *Para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una situación de emergencia del buque amarrado:* el dominio establecido para la condición de trabajo en la que se considera que se produce la situación de emergencia.
- *Para condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario o sísmico:* de entre los estados meteorológicos simulados para estas condiciones excepcionales (estados meteorológicos frecuentes y cuasi-permanentes), se considerarán únicamente los estados meteorológicos compatibles con el definido como representativo de la condición de trabajo excepcional adoptada a los efectos de la determinación del resto de cargas de actuación simultánea en dicha condición.
- *Para condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica:* de entre los estados meteorológicos simulados para estas condiciones extremas y excepcionales (estados cuasi-permanentes), se considerarán únicamente los estados meteorológicos compatibles con el definido como representativo de la condición de trabajo excepcional adoptada a los efectos de la determinación del resto de cargas de actuación simultánea en dicha condición.
- ◆ El valor representativo de las cargas de amarre en un elemento del sistema de amarre en cada condición de trabajo (valor característico, valor de combinación, valor frecuente y valor cuasi-permanente, en función de la condición de trabajo), será la mayor carga de amarre en dicho elemento entre las obtenidas para dicha condición de trabajo, considerando todos los buques de la flota esperable en el atraque, en la situaciones límite de carga de los mismos, o la parte que deba considerarse de dicha flota cuando se consideren condiciones extremas y extraordinarias debidas a la presentación de un agente climático extraordinario.
- ◆ El estado meteorológico asociado al valor característico de la carga de amarre en el elemento del sistema de amarre y para el modo de fallo considerado se adoptará como esta-

do meteorológico representativo de las condiciones de operación correspondiente al estado límite de permanencia del buque en el atraque, utilizándose a los efectos de la obtención de los valores compatibles de otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en dicho estado que dependan de los agentes meteorológicos.

b₃₂) Para formulaciones probabilistas

Para la verificación mediante formulaciones probabilísticas de modos de fallo últimos o de servicio en los que intervengan únicamente las cargas de amarre con otros factores directamente correlacionados con las mismas o éstas conjuntamente con otros factores independientes de las mismas o de los agentes de los que dependen, la función de distribución de las cargas de amarre en un elemento del sistema de amarre en cada ciclo de solicitud puede obtenerse mediante modelos numéricos de forma similar a lo dispuesto para modelos analíticos (ver epígrafe a₅₂ de este apartado), como una función derivada de la función de distribución del parámetro principal que caracteriza la flota de buques en el atraque, así como de las funciones de distribución del resto de parámetros geométricos del buque, condicionadas a cada valor del parámetro principal, para las situaciones límite de carga del mismo; de las funciones de distribución de las distintas variables de los agentes actuantes sobre el buque amarrado en el emplazamiento en el ciclo de solicitud considerado; de los valores nominales de los parámetros que definen la configuración y características del sistema de amarre y defensas para cada buque, cuando no dependen de alguno de los agentes actuantes, y de la relación entre los valores de los parámetros que definen la configuración y características del sistema de amarre y defensas y el valor de los agentes actuantes cuando dependan de ellos.

La diferencia radica en que mediante la aplicación de este tipo de modelos, la función de distribución de las cargas de amarre en un elemento del sistema de amarre se obtiene mediante el ajuste de una función de distribución a los valores máximos determinados a partir de los resultados obtenidos en el elemento considerado mediante la aplicación de simulaciones numéricas a un número suficiente de situaciones (buque + situación límite de carga del mismo + configuración del sistema de amarre + estado meteorológico u operativo) obtenidas aleatoriamente a partir de las funciones estadísticas de los parámetros que las definen (p.e. mediante el método de Monte Carlo).

Aunque la obtención de las funciones de distribución de las cargas de amarre en los distintos elementos del sistema de amarre mediante modelos numéricos es muy fiable, para ello se exige la realización práctica de un número muy elevado de simulaciones. Por dichas razones, salvo para flotas de buques esperables en el atraque de carácter muy homogéneo, no suele ser asumible su aplicación en términos de coste.

Por las mismas razones tampoco suele ser asumible la utilización de modelos numéricos para la obtención de cargas de amarre compatibles para la verificación mediante formulaciones probabilistas de modos de fallo últimos o de servicio en los que intervengan conjuntamente con las cargas de amarre otros factores dependientes de alguno de los agentes de los que éstas dependen.

4.6.4.4.7.1.4. Modelos experimentales

La utilización de modelos experimentales para la determinación de movimientos del buque y cargas de amarre da lugar a mayores costes en relación con los producidos por la aplicación del resto de modelos. Por dicha razón, los modelos experimentales de buques atracados deberán contemplarse como alternativa a los modelos numéricos, si su aplicación es necesaria de acuerdo con lo señalado en esta Recomendación, cuando no se disponga de este tipo de modelos, o los disponibles sean de escasa fiabilidad para las condiciones del emplazamiento, no estén ampliamente calibrados o contrastados en su rango de validez o no se defina el mismo. Asimismo, con carácter general, es particularmente recomendable la aplicación de modelos experimentales para comple-

mentar y contrastar los resultados obtenidos por medio de modelos matemáticos analíticos o numéricos, particularmente en aquellos casos en que éstos no incorporen todos los efectos significativos a los efectos de la generación de movimientos sobre el buque, o cuando las condiciones morfológicas del emplazamiento puedan dar lugar a variaciones significativas de las condiciones de actuación de los agentes exteriores a lo largo del buque amarrado (p.e. batimetrías muy irregulares, peraltadas o variables en la zona de atraque, condiciones de contorno complejas, resguardos bajo la quilla muy limitados, estructuras de atraque discontinuas o parcialmente reflejantes, ...) que el modelo numérico utilizado no es capaz ni de introducir correctamente ni, consecuentemente de valorar sus efectos. Para ello, debe garantizarse que el modelo experimental puede reproducir con la máxima fiabilidad el comportamiento del buque, incluyendo todos los efectos que influyen en el mismo, por lo que es necesario que los agentes climáticos actuantes puedan introducirse en el modelo con sus definiciones espectrales o temporales lo más completas posibles, a los efectos de que se tomen en consideración la incidencia de la irregularidad y dispersión direccional de los mismos. En el caso de no poder ser así por las características de las instalaciones disponibles, la consideración de los modelos experimentales como alternativa a modelos numéricos fiables no debe ser tomada en consideración.

Independientemente de lo anterior, siempre es conveniente aprovechar las posibilidades que se presenten de realización de ensayos mediante modelos experimentales para la determinación de movimientos de buques y cargas de amarre, sin que represente un incremento significativo de los costes, cuando estén disponibles modelos físicos contruidos para el análisis prioritario de otros fenómenos (p.e. ensayos de agitación o de estabilidad estructural).

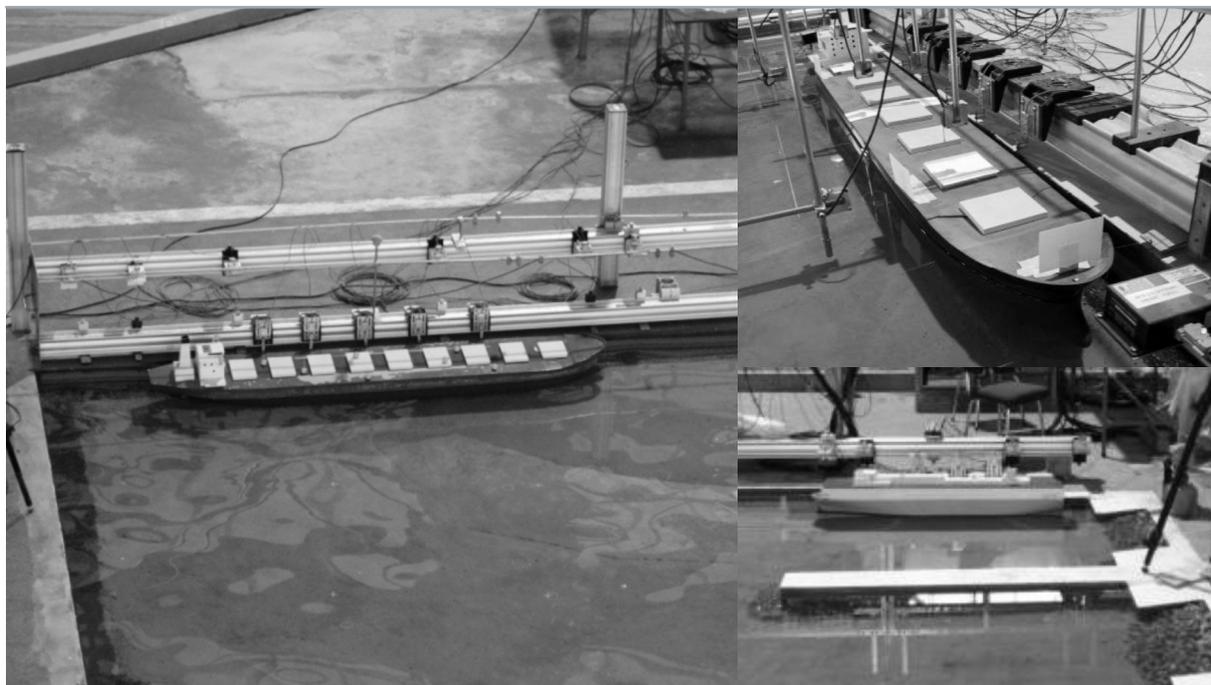
Los modelos experimentales que normalmente se consideran para la determinación de cargas de amarre y movimientos del buque amarrado son los modelos físicos hidráulicos en tanque de oleaje utilizando buques, contruidos conforme a la ley de semejanza de Froude entre modelo y prototipo, con escalas reducidas en general entre 1:80 y 1:150 en función de las dimensiones de la instalación portuaria analizada, de los factores de escala en relación con el tamaño de los buques que deben analizarse, del área marítima y costera necesaria para la correcta modelización de los estados meteorológicos en el emplazamiento, de las direcciones de oleaje que deben considerarse y de las características de las instalaciones así como del espacio disponible en el laboratorio (Ver figura 4.6.4.41). Menores escalas no son recomendables con el objeto de que se mantengan reducidos los efectos de escala derivados de las fuerzas viscosas, de capilaridad y de fricción con el fondo sin que deban conservarse simultáneamente en modelo y prototipo los números de Froude, Reynolds y Weber.

Al igual que los modelos numéricos, los modelos experimentales también permiten obtener las series temporales completas de los movimientos de los buques y de las cargas en líneas de amarre y defensas y, por tanto, sus parámetros estadísticos y espectrales, asociadas con los estados meteorológicos y operativos considerados, introducidos en el modelo a través de las descripciones espectrales y/o estadísticas de los agentes que actúan simultáneamente. Los registros de los movimientos de los buques se obtienen a través de emisores-receptores de rayos láser calibrados previamente, que dirigen el haz a puntos concretos de la cubierta y costado del buque modelizado, y los de las cargas en líneas de amarre y defensas a través de extensómetros. No se considerarán representativos ensayos correspondientes a un estado meteorológico estacionario que no simule un mínimo de tiempo equivalente a 3 horas en prototipo. Cuando deba considerarse un estado operativo transitorio (p.e. efectos hidrodinámicos inducidos por el paso de buques en tránsito) de actuación simultánea que el estado meteorológico pero de menor duración que el mismo, deberá considerarse la actuación del agente operativo aleatoriamente en diferentes momentos temporales de la simulación (mínimo 3) con el objeto de que pueda analizarse su influencia en la respuesta del buque y del sistema de amarre en diferentes posiciones de equilibrio.

Para la obtención del valor máximo más probable de movimientos del buque y de cargas de amarre correspondiente a una serie temporal registrada será de aplicación lo dispuesto al respecto para los modelos numéricos.

Asimismo, para la definición de las situaciones a ensayar en modelos experimentales para la determinación de los movimientos de los buques y de las cargas de amarre, tanto en lo que respecta a los buques y configuraciones de amarre como a los estados meteorológicos y operativos, se estará a lo dispuesto a estos efectos para modelos numéricos (epígrafe b_1 del apartado 4.6.4.4.7.1.3). De igual forma, para la definición de las condiciones límite de operatividad, así como de las cargas de amarre en cada condición de trabajo, a partir de los resultados de los ensayos en modelo físico realizados, se seguirá el procedimiento establecido a estos efectos cuando se aplican modelos numéricos (ver epígrafes b_2 y b_3 del apartado 4.6.4.4.7.1.3).

Figura 4.6.4.41. Ejemplo de modelo experimental para la deteminación de cargas de amarre y movimientos del buque amarrado



En el caso de que un punto de amarre pueda recibir cargas de amarre de atraques contiguos, los ensayos deberán realizarse considerando la presencia simultánea de buques en ambos atraques. En el caso de atraques múltiples para una misma flota, con el objeto de reducir el número de ensayos, simplificadaamente se considerarán en ambos atraques el mismo buque y situación de carga del mismo.

4.6.4.4.7.2. Criterios de aplicación y de distribución de las cargas de amarre en los elementos estructurales

Las cargas de amarre aplicadas en los puntos de amarre se considerarán concentradas en su punto de aplicación, a menos que se adopten simplificadaamente disposiciones lineales de las mismas a los efectos de la verificación de modos de fallo globales en obras de atraque continuas. En cualquiera de los casos se tendrá en cuenta el nivel de aplicación real de las cargas respecto a la estructura (p.e. altura del bolardo o del gancho de amarre sobre el nivel de coronación).

A los efectos de la verificación de modos de fallo locales, en el caso de que el punto de amarre esté equipado con bolardos, bitas, ganchos de amarre, ganchos de escape rápido, cabrestantes u otros equipos auxiliares para la sujeción de líneas de amarre se considerará que dichas cargas de amarre concentradas se transmiten a la estructura resistente en el área de contacto formada por la placa de anclaje del bolardo, gancho de amarre, ganchos de escape rápido u equipo auxiliar adoptado, a través de los correspondientes dispositivos de anclaje.

Para la distribución de las cargas de amarre aplicadas en las defensas, tanto en lo que se refiere a las presiones de contacto generadas sobre el casco del buque como al área en la que se transmiten a la estructura resistente será de aplicación lo dispuesto a estos efectos para las cargas de atraque (Ver apartados 4.6.4.4.3.2 y 4.6.4.4.3.3).

Podrá considerará simplificadaamente de lado de la seguridad que las acciones de amarre sobre los puntos de amarre y sobre las defensas son incompatibles entre sí cuando las componentes principales de las mismas actúen en una misma dirección y sentidos contrarios y ser, por tanto, su actuación simultánea favorable

a los efectos de la verificación de modos de fallo globales. No obstante, en estructuras atracables por ambos lados, así como en otras tipologías (p.e. estructuras de atraque en las que puedan amarrar esprines de acuerdo con la configuración del sistema de amarre establecido), en las que ambas cargas puedan actuar con sus componentes principales en el mismo sentido o en diferentes direcciones deberá considerarse su actuación simultánea.

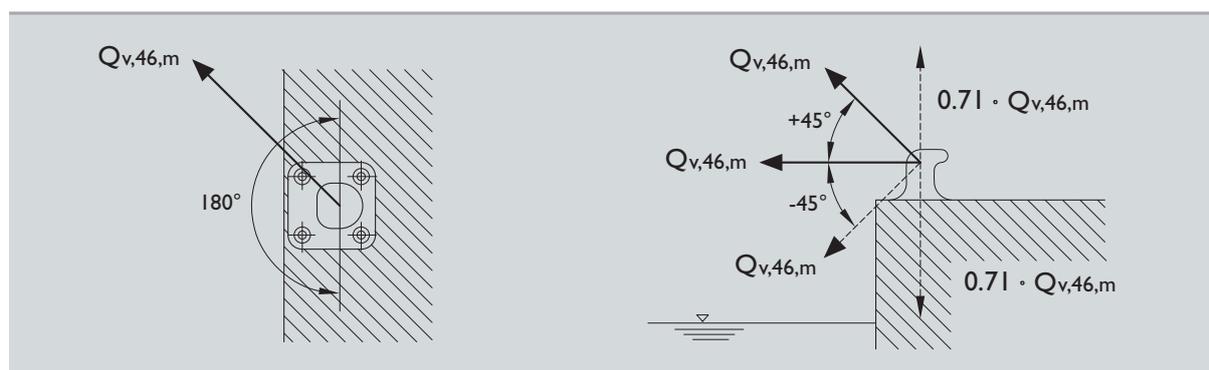
Tal como se ha señalado en apartados anteriores, en obras de atraque fijas continuas deberá considerarse simplificada que en todos los puntos de amarre puede actuar en cada condición de trabajo simultáneamente la carga correspondiente al punto de amarre más cargado en dicha condición de trabajo, en la dirección más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado de entre las que puede actuar. La misma simplificación es aplicable también a las cargas de amarre en las defensas.

En el caso de buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque, una vez determinado, de acuerdo con lo dispuesto en apartados anteriores, el valor representativo de la carga de amarre en cada punto de amarre en la condición de trabajo considerada como la mayor resultante de las líneas de amarre que pueden actuar simultáneamente sobre dicho punto en dicha condición de trabajo, deberá asumirse que ésta puede actuar en cualquier dirección en un sector angular horizontal de 180° en el lado mar, medido desde la alineación de atraque, y en un sector angular vertical de $+45^\circ$ medidos desde la horizontal, independientemente de la dirección de dicha resultante, adoptándose la dirección que sea más desfavorable para el elemento y modo de fallo analizado (Ver figura 4.6.4.42). En áreas con variaciones importantes del nivel de las aguas exteriores, el sector angular vertical considerado debe ser $\pm 45^\circ$ en función de las características de la flota esperable en el atraque. ⁽¹⁴⁵⁾

En el caso de buques amarrados por proa a un único punto fijo deberá asumirse que el valor representativo de la carga de amarre en cada condición de trabajo puede actuar en cualquier dirección horizontal y en un sector angular vertical de $\pm 45^\circ$ medido desde la horizontal.

En el caso de buques amarrados a un amarradero con orientación fija formado por un sistema de amarre a dos puntos de amarre, uno en proa y otro en popa, deberá asumirse que los valores representativos de las cargas de amarre en cada condición de trabajo pueden actuar en cualquier dirección en un sector angular horizontal de $\pm 45^\circ$, medido desde el eje longitudinal del buque, y en un sector angular vertical de $+45^\circ$ medido desde la horizontal.

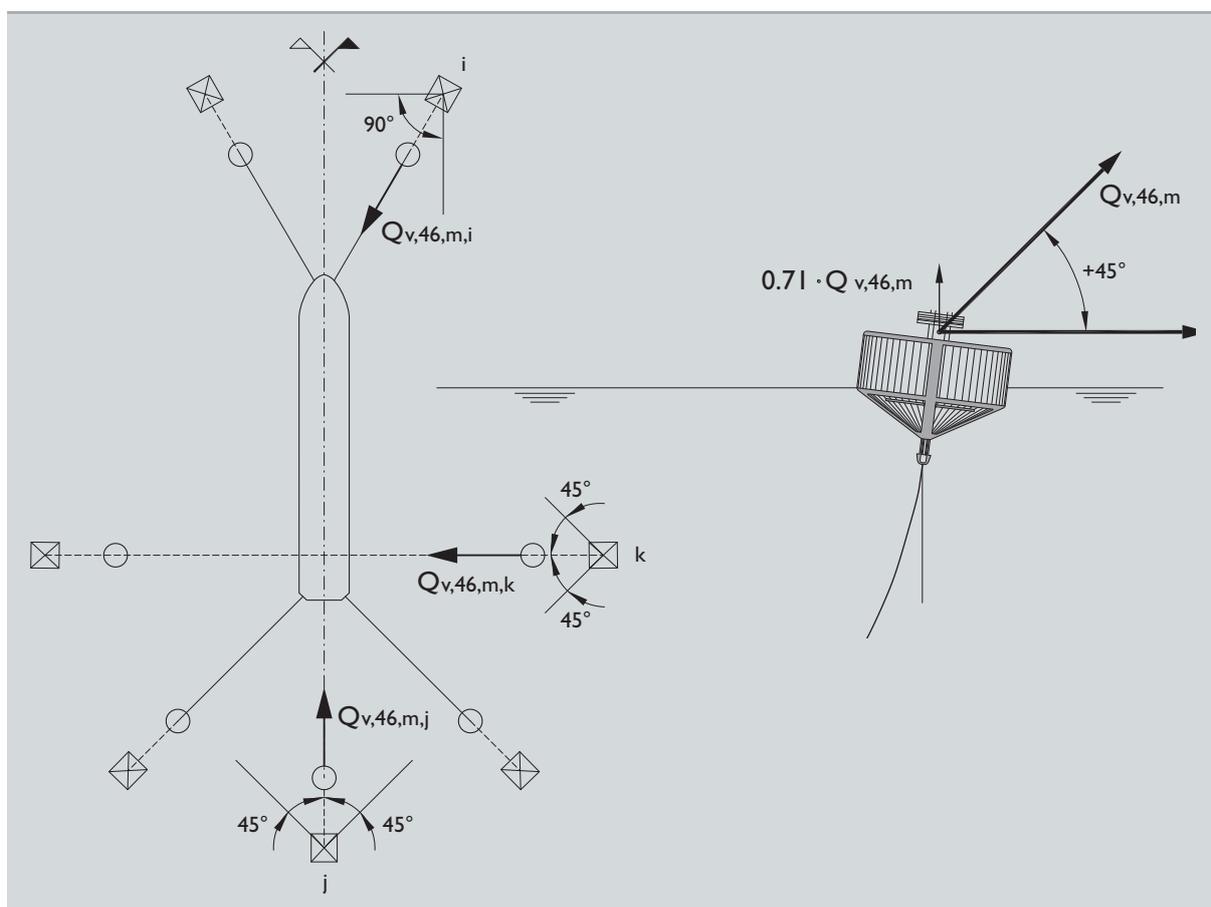
Figura 4.6.4.42. Direcciones de actuación del valor representativo de las cargas en los puntos de amarre, para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque



(145) Los límites considerados en esta Recomendación para los ángulos horizontales y verticales de las cargas de amarre en los puntos de amarre son inalcanzables para algunos equipos de amarre. Por ejemplo, algunos ganchos de escape rápido existentes en el mercado no permiten estos recorridos, particularmente en lo referente a los ángulos verticales negativos. No obstante, en previsión de posibles modificaciones en este equipamiento durante la vida útil de la obra de atraque se considerará el rango de direcciones establecido de actuación de las cargas de amarre, independientemente del tipo de punto de amarre considerado en el proyecto.

En el caso de buques amarrados a un amarradero con orientación fija formado por sistemas múltiples constituidos por puntos de amarre en proa y popa, deberá asumirse que los valores representativos de las cargas de amarre correspondientes a los largos en cada condición de trabajo pueden actuar en cualquier dirección en un sector angular horizontal de 90° en el lado del buque, medido desde la dirección paralela a la que se posiciona el eje longitudinal del buque, o de $\pm 45^\circ$ para los largos situados en dicho eje longitudinal, y en un sector angular vertical de $+45^\circ$ medido desde la horizontal (Ver figura 4.6.4.43). En el caso de los valores representativos de las cargas de amarre correspondientes, en su caso, a las coderas se considerará que pueden actuar en un sector angular horizontal de $\pm 45^\circ$ en el lado del buque, medido desde una dirección perpendicular a la posición del eje longitudinal del buque.

Figura 4.6.4.43. Direcciones de actuación del valor representativo de las cargas en los puntos de amarre, para buque amarrado a un amarradero de orientación fija formado por sistemas múltiples



Cuando puedan adoptarse disposiciones lineales para las cargas de amarre, éstas se definirán en cada condición de trabajo como una carga lineal uniformemente repartida igual al mayor valor representativo de la carga de amarre entre los correspondientes a todos los puntos de amarre en dicha condición de trabajo, dividido por la separación más pequeña entre puntos de amarre. Para poder considerar dicha simplificación, los puntos de amarre (bolardos, ganchos de amarre, ...) deben estar ubicados en el eje de simetría de la estructura resistente o en el punto medio entre juntas de dilatación en el caso de obras de atraque continuas.

Al igual que lo señalado para otro tipo de cargas, cuando la distancia entre el punto o la superficie de actuación de las cargas de amarre sobre la estructura resistente y la directriz de dicha estructura sea significativa, se procederá al reparto de las cargas hasta dicha superficie mediante planos trazados desde los bordes del área de

contacto con inclinación 1:1 (45°), sin perjuicio de otro tipo de acciones que pudieran presentarse debido a la no coincidencia entre el punto de aplicación de las cargas y la directriz del elemento estructural. Podrán adoptarse repartos más favorables siempre que se justifiquen debidamente por medio de modelos teóricos de validez reconocida para el elemento estructural analizado. La aplicación de este criterio de reparto a estructuras lineales continuas lleva a considerar, con carácter general, que la carga de amarre es resistida por una longitud de estructura resistente igual a $2 \cdot b$, siendo b el ancho de dicha estructura, siempre y cuando dicha longitud sea menor que la distancia entre juntas de dilatación. No obstante lo anterior, en estructuras de pequeña anchura se suelen aplicar criterios específicos más favorables en función de su tipología y características estructurales. Por ejemplo en pantallas de tablestacas metálicas, suele considerarse que las cargas de amarre son resistidas por una longitud de pantalla igual a cuatro veces la distancia entre anclajes.

4.6.4.4.7.3. Cargas de amarre mínimas en puntos de amarre y defensas

Sin perjuicio de la determinación de las cargas de amarre para cada una de las condiciones de trabajo de acuerdo con las metodologías establecidas en esta Recomendación, con el objeto de tomar en consideración las incertidumbres asociadas con dichos procesos metodológicos y con la definición de los agentes actuantes sobre el buque amarrado, así como las variaciones razonables en las condiciones de utilización y los criterios de explotación de la obra de atraque durante su vida útil respecto a los previstos en la fase de proyecto, es recomendable considerar un valor característico mínimo de las cargas de amarre en condiciones de operación asociadas al estado límite de permanencia del buque en el atraque. Dicho valor característico mínimo se define para buques con eslora mayor o igual a 25 m, en función de la configuración física del atraque, de las condiciones climáticas límite establecidas para la permanencia del buque en el mismo y del buque de mayor desplazamiento máximo perteneciente a la flota esperable en el atraque.

a) Para buques amarrados lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre

- ◆ Valor característico mínimo de las cargas de amarre en los puntos de amarre, para condiciones operativas de permanencia del buque en el atraque

Cuando las condiciones climáticas límite definidas para la permanencia de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque se clasifiquen como Tipos I y II de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.49 de esta Recomendación, los valores característicos mínimos de las cargas de amarre en los puntos de amarre, en condiciones operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque, se incluyen en la tabla 4.6.4.66.

Tabla 4.6.4.66. Valores característicos mínimos de las cargas en los puntos de amarre, para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque en condiciones climáticas Tipos I y II, para buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque

BUQUE DE MAYOR DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (Δ_{pc}) PARA LA FLOTA ESPERABLE EN EL ATRAQUE (t)	VALOR CARACTERÍSTICO MÍNIMO DE LAS CARGAS DE AMARRES EN LOS PUNTOS DEL AMARRE (kN)
≤ 1000	100
1.000 a 5.000	250
5.000 a 10.000	350
10.000 a 20.000	600
20.000 a 50.000	800
50.000 a 100.000	1.000
100.000 a 200.000	1.500
> 200.000	2.000

Cuando las condiciones climáticas límite definidas para la permanencia de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque se clasifiquen como Tipo III de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.49 de esta Recomendación, los valores característicos mínimos de las cargas de amarre en los puntos de amarre en las citadas condiciones de trabajo serán las correspondientes a la tabla 4.6.4.66, incrementados en un 25%.

Dichas cargas mínimas serán de aplicación independientemente del tipo de equipo auxiliar de sujeción considerado (p.e. bolardo o gancho de escape) y del número de líneas de amarre que pueda recibir (bolardo simple o doble, gancho de escape rápido simple, doble, triple o cuádruple).

- ◆ *Valor característico mínimo de las cargas de amarre en las defensas, para condiciones operativas de permanencia del buque en el atraque*

Los valores característicos mínimos de las cargas de amarre en las defensas, en condiciones operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque, son los establecidos para los puntos de amarre para cada una de las condiciones climáticas límite definidas para la permanencia del buque en el atraque, multiplicados por la siguiente relación: separación entre defensas/separación entre puntos de amarre.

b) Para buques amarrados por proa a un amarradero de orientación libre

Cuando las condiciones climáticas límite definidas para la permanencia de los buques o embarcaciones pertenecientes a la flota esperable en el atraque se clasifiquen como Tipo I ó II de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.49 de esta Recomendación, los valores característicos mínimos de las cargas de amarre en los puntos de amarre, en condiciones operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque, se incluyen en la tabla 4.6.4.67. Asimismo, cuando las condiciones climáticas límite definidas para la permanencia de los buques en el atraque se clasifiquen como Tipo III de acuerdo con lo dispuesto en la citada tabla, los valores característicos mínimos de las cargas de amarre en los puntos de amarre en las citadas condiciones de trabajo serán los establecidos para condiciones climáticas Tipos I y II, incrementados en un 25%.

Tabla 4.6.4.67. Valores característicos mínimos de las cargas en los puntos de amarre, para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque en condiciones climáticas Tipos I y II, para buque amarrado por proa a un amarradero de orientación libre (monoboya o monodique de alba)

BUQUE DE MAYOR DESPLAZAMIENTO MÁXIMO A PLENA CARGA(Δ_{pc}) PARA LA FLOTA ESPERABLE EN EL ATRAQUE (t)	VALOR CARACTERÍSTICO MÍNIMO DE LAS CARGAS DE AMARRES EN LOS PUNTOS DEL AMARRE (kN)
≤ 1000	150
1.000 a 5.000	350
5.000 a 10.000	500
10.000 a 20.000	700
20.000 a 50.000	1.000
50.000 a 100.000	1.500
100.000 a 200.000	2.000
> 200.000	2.500

c) Para buques amarrados a un amarradero de orientación fija

Para sistemas de amarre a dos boyas, una a proa y otra a popa, los valores característicos mínimos de las cargas de amarre en los puntos de amarre, en condiciones operativas correspondientes al estado lími-

te de permanencia del buque en el atraque en condiciones climáticas Tipos I y II, serán el doble de los establecidos en la tabla 4.6.4.67 para buques amarrados por proa a un amarradero de orientación libre

Para sistemas de amarre múltiples, constituidos por, como mínimo, seis puntos de amarre situados tanto en proa como en popa, los valores característicos mínimos de las cargas de amarre en los puntos de amarre, en condiciones operativas correspondientes al estado límite de permanencia del buque en el atraque en condiciones climáticas Tipo I ó II, serán idénticos a los establecidos en la tabla 4.6.4.67 para buques amarrados por proa a un amarradero de orientación libre.

No se definen valores característicos de las cargas de amarre mínimas para condiciones climáticas límite de permanencia del buque en el atraque clasificadas como Tipo III, al considerarse que estas configuraciones físicas del atraque no son recomendables para estas condiciones (Ver apartado 4.6.4.4.7.1.1. d).

Para la aplicación de los anteriores valores característicos mínimos de las cargas de amarre, las disposiciones del sistema de amarre, incluyendo la separación entre puntos de amarre y, en su caso, entre defensas, deberá responder a las disposiciones tipo establecidas en esta Recomendación para cada una de las configuraciones físicas del atraque (Ver tablas 4.6.4.50 a 4.6.4.57).

Los valores característicos mínimos de las cargas de amarre incluidos en esta Recomendación se considerarán de aplicación únicamente para la verificación de los modos de fallo en condiciones de trabajo operativas correspondientes a la permanencia del buque en el atraque por medio de formulaciones determinista o determinista-probabilista, para probabilidades de presentación de los modos de fallo en estas condiciones menores o iguales al 5%.

