

**RECOMENDACIONES PARA OBRAS MARITIMAS**



**ROM 0.4-95**  
**ACCIONES CLIMATICAS II:**  
**VIENTO**



Ministerio de Obras Públicas, Transportes  
y Medio Ambiente



Puertos del Estado



## INDICE GENERAL

INTRODUCCION .....	7
PARTE 1. GENERAL .....	11
PARTE 2. CARACTERIZACION DEL VIENTO .....	33
PARTE 3. CARGAS DE VIENTO.....	85
ANEJO I. ATLAS DE VIENTO EN EL LITORAL ES- PAÑOL .....	165
ANEJO II. METODO SIMPLIFICADO PARAMET- RICO DE PREVISION DE OLAJE DE VIENTO .....	233

**OBRAS  
MARITIMAS**  
*TECNOLOGIA*



**Puertos del Estado**



Ministerio de Obras Públicas, Transportes  
y Medio Ambiente

**1995**

**OBRAS  
MARITIMAS**  
*TECNOLOGIA*



**Puertos del Estado**



9 788488 975096



Ministerio de Obras Públicas, Transportes  
y Medio Ambiente  
Centro de Publicaciones



# **ROM 0.4-95**

## **ACCIONES CLIMATICAS II: VIENTO**



## INDICE GENERAL

---

INTRODUCCION .....	7
<b>PARTE 1. GENERAL</b> .....	<b>11</b>
1.1. AMBITO DE APLICACION .....	17
1.2. CONTENIDO .....	17
1.3. DEFINICIONES .....	18
1.4. SISTEMA DE UNIDADES .....	22
1.5. NOTACIONES .....	22
1.6. REFERENCIAS DOCUMENTALES .....	22
<b>PARTE 2. CARACTERIZACION DEL VIENTO</b> .....	<b>33</b>
2.1. CARACTERIZACION DEL VIENTO EN PERIODOS DE CORTA DURACION .....	41
2.1.1. ESTADO DE VIENTO .....	41
2.1.2. PERFIL DE VELOCIDADES DE UN ESTADO DE VIENTO .....	43
2.1.3. VELOCIDAD BASICA DEL VIENTO .....	58
2.1.4. FACTORES DE VELOCIDAD DE VIENTO .....	58
2.2. CARACTERIZACION DEL VIENTO EN PERIODOS LAR- GOS DE TIEMPO .....	63
2.2.1. CONSIDERACIONES GENERALES .....	63
2.2.2. DATOS DE PARTIDA .....	65
2.2.3. ROSAS DE VIENTO .....	69
2.2.4. ANALISIS ESTADISTICO UNIDIMENSIONAL DE LA VARIABLE VE- LOCIDAD DEL VIENTO .....	71
2.2.5. ANALISIS DE PERSISTENCIAS .....	77
<b>PARTE 3. CARGAS DE VIENTO</b> .....	<b>85</b>
3.1. DEFINICION DE CARGA DE VIENTO ( $Q_{M4}$ ) .....	95
3.2. DETERMINACION DE LA ACCION .....	95
3.2.1. CRITERIOS DE VALORACION DE LA ACCION DE VIENTO .....	95
3.2.2. ACCION DEL VIENTO SOBRE ESTRUCTURAS Y FLOTADORES .....	107

3.3. EFECTOS DINAMICOS .....	146
3.3.1. CONSIDERACION DE EFECTOS DINAMICOS DEBIDOS A LA ACCION DEL VIENTO .....	146
3.3.2. CALCULO DE LOS EFECTOS DINAMICOS CAUSADOS POR LA ACCION DEL VIENTO.....	149
3.3.3. DEFINICION NUMERICA DE LA ACCION DINAMICA PRODUCIDA POR LAS FLUCTUACIONES DE LA PRESION DEL VIENTO INCIDENTE.....	154
3.3.4. DEFINICION NUMERICA DE LA ACCION DINAMICA PRODUCIDA POR LAS FLUCTUACIONES DE PRESION ORIGINADAS POR LA FORMACION DE REMOLINOS EN LA ESTELA GENERADA POR LA INTERPOSICION DE UNA ESTRUCTURA AL FLUJO DE VIENTO INCIDENTE .....	157
3.3.5. ANALISIS DE FATIGA .....	162
<b>ANEJO I. ATLAS DE VIENTO EN EL LITORAL ESPAÑOL.....</b>	<b>165</b>
I.1. PLANTEAMIENTO GENERAL.....	173
I.2. ZONIFICACION DEL LITORAL ESPAÑOL.....	173
I.3. METODOLOGIA DE DETERMINACION .....	174
I.4. CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA INFORMACION ANALIZADA .....	175
I.5. CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS RESULTADOS .....	176
I.6. PRESENTACION DE RESULTADOS .....	184
I.7. DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DE PROYECTO A PARTIR DE LA CARACTERIZACION DEL VIENTO INCLUIDA EN ESTE ANEJO .....	227
<b>ANEJO II. METODO SIMPLIFICADO PARAMETRICO DE PREVISION DE OLEAJE DE VIENTO.....</b>	<b>233</b>
II.1. INTRODUCCION .....	241
II.2. DATOS DE PARTIDA .....	242
II.3. PREVISION DEL OLEAJE DE VIENTO EN AGUAS PROFUNDAS.....	244
II.4. PREVISION DEL OLEAJE DE VIENTO EN PROFUNDIDADES REDUCIDAS .....	246

## INTRODUCCION

---

La ROM 0.4-95. Acciones Climáticas II: VIENTO se inscribe en el marco del PROGRAMA ROM de Recomendaciones para Obras Marítimas que desarrolla Puertos del Estado desde 1987.

Los objetivos de dicho Programa, que no eran otros que redactar un conjunto de Recomendaciones que reunieran la tecnología más avanzada en los diversos sectores de la ingeniería marítima y portuaria y que constituyeran el embrión de la Norma o Instrucción Española en este campo de la ingeniería, se mantienen vigentes y se van cumpliendo año a año. Desde 1990 en que se publicó la primera Recomendación, y a medida que la aplicación de las mismas se ha ido generalizando, el Programa ROM se ha ido consolidando, siendo reconocido ampliamente en los ámbitos afectados tanto nacionales como internacionales como una excelente herramienta de desarrollo tecnológico y de formación.

La incorporación paulatina a los distintos Comités Técnicos de algunos de los especialistas más reconocidos que existen en España en los diversos campos de la ingeniería marítima y portuaria garantiza el proceso como mecanismo para la consolidación de la experiencia y tecnología portuarias existentes en España, y como punto de partida para desarrollos futuros.

Con independencia de su aplicación generalizada por parte de las Autoridades Portuarias, Gobiernos Autónomos y demás organismos y empresas españolas con intereses en la ingeniería marítima, en estos momentos los documentos ROM son también de amplia utilización en las Escuelas de Ingeniería Civil Españolas, habiendo sido asimismo adoptados por algunas Autoridades Portuarias y otros Organismos con competencias portuarias, especialmente en Europa y en Latinoamérica, como documentos base para la definición de los criterios técnicos, y de los niveles de calidad y de seguridad exigibles en sus obras de infraestructura.

Hasta la fecha se han publicado y están en vigor las siguientes Recomendaciones:

- ROM 0.2-90. Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias <sup>1)</sup>.
- ROM 0.3-91. Acciones Climáticas I: Oleaje. Anejo I: Clima Marítimo en el litoral español <sup>1)</sup>.
- ROM 0.4-95. Acciones Climáticas II: Viento.
- ROM 0.5-94. Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas <sup>1)</sup>.
- ROM 4.1-94. Recomendaciones para el Proyecto y Construcción de Pavimentos Portuarios <sup>1)</sup>.

La ROM 0.4-95 representa el desarrollo de la ROM 0.2-90. Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias en lo que respecta a la acción del viento. La necesidad de dicho desarrollo venía fijada en la citada Recomendación al no tratar en profundidad las cargas climáticas o medioambientales (*debidas al oleaje, viento, corrientes,...*), por considerar necesaria una amplitud de tratamiento en la descripción y parametrización de los fenómenos naturales causantes de dichas acciones y de las acciones mismas.

La ROM 0.4-95 ACCIONES CLIMATICAS II: VIENTO ha sido redactada por la Comisión Técnica designada al efecto por la Presidencia de Puertos del Estado, bajo la responsabilidad orgánica de la Dirección Técnica. Los miembros de dicha Comisión y los Organismos a los que pertenecen son los siguientes:

- |                          |                               |                      |
|--------------------------|-------------------------------|----------------------|
| — Presidente:            | Juan Muñoz Mitchell           | (Puertos del Estado) |
| — Director del Programa: | Francisco Esteban Rdez-Sedano | (Puertos del Estado) |

---

(1) Disponible en versión inglesa.



— Secretaría del Programa:	José Llorca	(Puertos del Estado/Dpto.de Tecnología y Normativa)
	Itziar Rodríguez Aguirre	(Puertos del Estado/Dpto. de Tecnología y Normativa)
— Vocales:	Carlos Almarza	(Instituto Nacional de Meteorología)
	José A. Bravo	(Autoridad Portuaria Bahía de Cádiz)
	Juan I. Grau	(IBERINSA)
	Andrés Guerra	(Puertos del Estado/Dpto. de Clima Marítimo)
	M <sup>º</sup> Jesús Martín	(Centro de Estudios de Puertos y Costas-CEDEX)
	Francisco Morán	(Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja)
	Francisco Navarro	Laboratorio de Estructuras y Materiales-CEDEX)
	Guillermo Ontañón	(INTECSA)
	Eloy Pita Carpenter	(Puertos del Estado/Dpto. de Proyectos y Obras)
— Ponencia:	Javier Rodríguez Besné	(Puertos del Estado /Dpto. de Actuaciones Urbanísticas)
	Carlos Sanchidrián	(ALATEC,S.A.)
	José Llorca	(Puertos del Estado /Dpto. de Tecnología y Normativa)

El viento, conjuntamente con el oleaje, es uno de los fenómenos naturales que mayor incidencia tiene en la ingeniería marítima y portuaria y, en general, en toda la actividad portuaria. Su influencia es decisiva en la planificación, proyecto y construcción de obras marítimas e instalaciones portuarias tanto estructuralmente como funcionalmente; en la definición de criterios, condiciones de explotación y niveles de operatividad en puertos y terminales; en el estudio de procesos litorales y de dispersión de contaminantes o de productos de dragado; y en la evaluación de los niveles de dificultad y seguridad de una ruta de navegación o de una cierta maniobra del buque en un emplazamiento determinado. Asimismo, el conocimiento y parametrización del viento tiene gran importancia para el análisis y previsión de otros fenómenos naturales con el mismo origen físico como el oleaje o las corrientes.

Contar con Recomendaciones específicas para el Viento dentro del Programa ROM es pues necesario, sobre todo si tenemos en cuenta que las normas de Viento actualmente en vigor tanto a nivel nacional como internacional no contemplan muchos de los aspectos de interés o que son relevantes para la ingeniería marítima. Esto es especialmente importante en España, donde la única Norma en vigor con cierta incidencia es la Norma Básica de la Edificación NBE-AE-88 "Acciones en la Edificación". Esta Norma, que trata únicamente aspectos parciales relacionados con las cargas de viento, tiene su ámbito de aplicación fundamentalmente en la edificación aunque tradicionalmente ha sido aplicada de forma subsidiaria a todos los proyectos de obras civiles. Además, en esa Norma la determinación de la velocidad del viento de proyecto se hace estrictamente de forma determinista, muy alejada de los criterios actuales de valoración de acciones climáticas fundamentalmente a partir de datos estadísticos referentes a los parámetros que constituyen el origen físico de la acción. Por otro lado y como reconoce el preámbulo del propio Real Decreto de aprobación, esta Norma necesita una profunda revisión aunque se retrasa en espera de la entrada en vigor del Eurocódigo correspondiente.

Dada la gran utilidad práctica demostrada desde su publicación en 1991 por el Atlas de Clima Marítimo en el Litoral Español (ROM 0.3-91. Oleaje. Anejo I) para la definición de oleajes de proyecto en España, la Comisión Técnica ha constatado la necesidad de incluir también en la presente Recomendación un Anejo que posibilite la rápida caracterización media y extremal del viento en el litoral español sin tener que recurrir sistemáticamente a la localización y análisis estadístico de los datos brutos de viento disponibles, y por tanto facilite la aplicación práctica de la presente Recomendación. Las relaciones de caracterización del viento en el litoral español incluidas se presentan gráficamente como Atlas de Viento, con formato y metodología de aplicación similar al Atlas de Clima Marítimo actualmente vigente. Para la realización y desarrollo de este Atlas, a partir del análisis estadístico de la información disponible y la metodología de determinación más avanzada y fiable, se ha contado con la colaboración expresa del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX y del Instituto Nacional de Meteorología del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.

En resumen, el conjunto de Recomendaciones incluidas en este documento desarrollan en lo referente a la acción del viento el marco de referencia uniforme que constituye el

Programa ROM. Por tanto, este documento debe entenderse como una "Guía de Buena Práctica", lo cual no exime del cumplimiento de otras Normas o Códigos de carácter oficial que pudieran ser de aplicación.

Aunque esta Recomendación hace especial hincapié en aquellos aspectos que interesan o inciden específicamente en la ingeniería marítima y en la actividad portuaria, dada la gran variedad de estructuras, instalaciones y condiciones de actuación del viento que pueden presentarse en las zonas portuarias y, por tanto, incluidas en el ámbito de aplicación del presente documento, la utilización de la ROM 0.4-95. Viento puede generalizarse y ser de utilidad para cualquier tipo de proyecto de infraestructuras en cualquier localización. No obstante, el Anejo correspondiente al Atlas de Viento será de aplicación únicamente para aquellas localizaciones situadas en las proximidades de las zonas con información de viento analizada (*Áreas litorales y mar territorial español*).

Este documento, igual que los otros incluidos en el Programa ROM, serán revisados en el futuro en caso necesario una vez se tenga experiencia probada y contrastada de aplicación o se produzcan avances significativos en el "Estado del Arte". Es por tanto muy importante que la Comisión Técnica, a través de la Secretaría del Programa ROM, reciba comentarios y sugerencias por escrito por parte de los utilizadores sobre los desacuerdos, dudas, interpretaciones y demás aspectos relacionados con la aplicación práctica de dichos documentos que puedan ir surgiendo con el tiempo. Este es, sin duda, un buen camino que puede hacer posible avances en el futuro. Dichas observaciones, así como cualquier tipo de información que se necesite sobre el Programa ROM, deberán ser dirigidas a:

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA Y NORMATIVA

PUERTOS DEL ESTADO  
Avda. del Partenón, 10  
Campo de las Naciones  
28042-Madrid

Teléfono: 34-1-524 55 67  
Fax: 34-1-524 55 06

SEPTIEMBRE 1995



**PARTE 1**

**GENERAL**

**Indice**

1.1. AMBITO DE APLICACION .....	17
1.2. CONTENIDO .....	17
1.3. DEFINICIONES .....	18
1.4. SISTEMA DE UNIDADES .....	22
1.5. NOTACIONES .....	22
1.6. REFERENCIAS DOCUMENTALES .....	22





## **PARTE 1**

## **TABLAS** **Indice**

1.5.1.	Notaciones, abreviaturas y símbolos convencionales fundamentales utilizados en estas Recomendaciones .....	25
--------	--	----



**1.1. AMBITO DE APLICACION**

Las Recomendaciones para la consideración de Acciones Climáticas II: Viento (ROM 0.4.) serán de aplicación en la planificación, proyecto y construcción de todas las obras marítimas y portuarias cualquiera que sea su clase o destino, y los materiales y elementos empleados en su construcción. A estos efectos, se consideran obras marítimas y portuarias aquellas construcciones, estructuras y elementos estructurales ubicados en zonas marítimas o portuarias, o en cualquier otra pertenencia del dominio público marítimo-terrestre, siempre que permanezcan en situación estacionaria en fase de servicio, tanto en forma fija como flotante. De igual modo, estas Recomendaciones serán también de aplicación a aquellas instalaciones, equipamientos, y elementos o fases auxiliares de construcción que puedan afectar a la seguridad o correcto funcionamiento, tanto en fase de servicio como en fase de construcción, de las obras marítimas y portuarias que reúnan los requisitos indicados en el párrafo anterior.

Asimismo, el ámbito de aplicación de estas Recomendaciones se extiende a todos aquellos aspectos funcionales ligados a la actividad portuaria y a la navegación como: la definición de criterios, condiciones de explotación y niveles de operatividad de instalaciones, equipos, puertos y terminales; el estudio de procesos litorales y de dispersión de contaminantes y productos de dragado; y la evaluación de los niveles de dificultad y seguridad de una ruta de navegación o de una maniobra del buque.

Subsidiariamente, en la medida que no haya normativa oficial al respecto o la vigente no contemple todos los aspectos necesarios, también su aplicación podrá generalizarse al campo de la edificación y a otros campos de la ingeniería civil cualquiera que sea la localización de las construcciones.

**1.2. CONTENIDO**

Las presentes Recomendaciones reúnen toda la información y criterios necesarios para la completa caracterización y definición de la acción del viento que actúa sobre cualquier tipo de construcción, instalación, estructura o elemento estructural independientemente de su localización; desarrollando ampliamente aquellos aspectos que son particularmente relevantes para las obras marítimas y portuarias o, en general, para la actividad portuaria y la navegación.

Asimismo, con objeto de facilitar la aplicación práctica de estas Recomendaciones en las condiciones locales y climáticas españolas, se incluye en forma de Mapas de Viento y Atlas de Viento la caracterización media y extremal del viento en el litoral y mar territorial españoles.

La ROM 0.4-95 para la consideración de acciones climáticas II: Viento se estructura en 3 partes y dos anejos:

**PARTE 1. GENERAL.** Incluye todos los aspectos generales necesarios para la correcta aplicación y comprensión de la Recomendación: ámbito de aplicación, descripción general de su contenido, definiciones, unidades utilizadas, notaciones y simbología, y documentación básica de referencia.

**PARTE 2. CARACTERIZACION DEL VIENTO.** Incluye todos los aspectos necesarios para el conocimiento, descripción y caracterización estadística del viento como fenómeno natural tanto en periodos de corta duración (*Estados de Viento*) como en periodos largos de tiempo (*relaciones estadísticas medias y extremales para la predicción*).

**PARTE 3. CARGAS DE VIENTO.** Se fijan los criterios generales para la valoración de la acción del viento, incidiendo especialmente en la determinación de los valores representativos y de cálculo de dicha acción. Se incluye la definición y parametrización de cada uno de

los tipos de cargas debidas a la acción del viento sobre las diversas tipologías y disposiciones estructurales, instalaciones, equipos y flotadores (*fuerzas de presión y fuerzas de rozamiento*), así como los criterios de obtención y de actuación de las mismas. Se analiza la posibilidad de efectos dinámicos debidos a la acción del viento, describiendo los diversos tipos que pueden presentarse, cuantificando su importancia e indicando cuándo y de qué forma deben considerarse en el cálculo.

ANEJO I. ATLAS DE VIENTO EN EL LITORAL ESPAÑOL. Se incluyen las relaciones estadísticas que permiten la caracterización media y extremal del viento en el litoral y mar territorial españoles, obtenidas a partir del análisis estadístico de toda la información disponible tanto instrumental como obtenida desde buques en ruta. Se analizan las características técnicas de la información analizada y la validez de los resultados obtenidos.

ANEJO II. METODO SIMPLIFICADO PARAMETRICO DE PREVISION DE OLEAJE DE VIENTO. Se incluye el método simplificado paramétrico de previsión de oleaje de viento SPM (*Shore Protection Manual/1984*) tanto para aguas profundas como para profundidades reducidas, así como los criterios técnicos imprescindibles para la determinación de los datos de partida necesarios para su aplicación (*longitud del fetch, características del viento generador y profundidad del agua*). El objeto de incluir este anejo en esta Recomendación, cuyo contenido se desarrollará más ampliamente en la ROM 0.3. Oleaje, es dotar al usuario de la ROM 0.4 de una herramienta rápida que le permita estimar el oleaje generado por el viento de cálculo en dársenas, rías, embalses y demás zonas de fetch corto en las que generalmente no existe información de oleaje disponible, y donde la acción del oleaje está estrecha y directamente ligada al viento de proyecto.

### 1.3. DEFINICIONES

Unicamente se definen expresamente en este apartado los términos más específicos de las presentes Recomendaciones. Para otros términos de carácter más general y sólo ocasionalmente utilizados en la ROM 0.4-95, y por tanto no incluidos en la presente relación, deberá recurrirse a las definiciones contenidas en otros documentos ROM, y en particular al apartado correspondiente de la ROM 0.2-90. Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias.

- ACCION O CARGA: toda causa o agente actuante capaz de generar estados tensionales o deformaciones tanto en las estructuras como en el terreno.
- ACCION DINAMICA: una acción tendrá la consideración de carga dinámica si su aplicación induce aceleraciones significativas en la totalidad de la construcción, en elementos estructurales diferenciados de la misma, o en el terreno.
- ACCION ESTATICA: acción cuya actuación no genera aceleraciones significativas ni en el terreno ni en las estructuras.
- ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE: parámetro representativo de las características del oleaje. Se define, a partir de discretizar un registro de oleaje en olas individuales según el Método de Paso por Cero, como la media aritmética de las alturas de ola del tercio de olas más alta del registro; o bien, a partir del espectro de oleaje, como cuatro veces la raíz cuadrada del área encerrada por la función de densidad espectral del oleaje.
- ANEMOGRAMA: representación gráfica de un registro de las componentes horizontales de las velocidades y direcciones instantáneas del viento en un punto determinado.
- ANTICICLON: centro de altas presiones.
- ATMOSFERA LIBRE O REGION GEOSTROFICA: zona situada por encima de los 200-1000 metros de altura sobre la superficie de la tierra en la que los efectos friccionales de contorno son despreciables frente a las fuerzas de presión e inerciales que intervienen en la formación del viento, dando como resultado un flujo de viento esencialmente laminar. En esta zona el vector velocidad de viento es constante e independiente de la altura.
- BARLOVENTO: parte de donde procede el viento, con respecto a un punto o zona determinado.

- CAPA LIMITE PLANETARIA: zona situada entre la superficie del terreno y los 200-1000 metros de altura sobre la misma, en la que el equilibrio resultante en la atmósfera libre entre las fuerzas de presión e inerciales que intervienen en la formación del viento se ve modificado significativamente por la influencia de las fuerzas de arrastre inducidas por la superficie terrestre y por las diferencias de temperatura entre el aire y la superficie terrestre, dando como resultado flujo de viento turbulento. Esta capa está formada por dos subcapas: la capa de transición o región de Ekman y la capa límite superficial.
- CAPA LIMITE SUPERFICIAL: subcapa de la capa límite planetaria situada entre la superficie del terreno y los 100 metros de altura sobre la misma.
- CARGA FRECUENCIAL: acción que actúa sobre la estructura de forma cíclica según intervalos regulares de tiempo, o de forma irregular como combinación de cargas cíclicas de características diferentes.
- CARGA VARIABLE: carga cuya magnitud o posición puede sufrir alteraciones durante la fase de proyecto que se analiza.
- CICLON O BORRASCA: centro de bajas presiones.
- CLIMA MARITIMO: caracterización del oleaje en periodos largos de tiempo o descripción estadística de la variación en el dominio del tiempo de los Estados de Mar en un emplazamiento dado.
- COEFICIENTE DE SEGURIDAD O DE MAYORACION DE CARGAS: factor multiplicativo de los valores representativos de las acciones para obtener los valores de cálculo.
- CURVA DE ESTADOS DE VIENTO: función continua que representa la evolución de un determinado parámetro representativo del Estado de Viento (*en particular la velocidad media del viento*) a lo largo del tiempo en un punto determinado.
- CONDICIONES EXTREMAS: situación de una instalación o estructura asociada a las más severas condiciones medioambientales o climáticas de proyecto. Mientras subsistan estas condiciones la instalación debe paralizar o limitar su operatividad.
- CONDICIONES NORMALES DE OPERACION: estado en el que una instalación funciona sin limitaciones, no viéndose afectada su explotación u operatividad por las condiciones medioambientales o climáticas. A efectos del proyecto esta condición está asociada a las condiciones límite de operatividad de la instalación.
- DATOS INSTRUMENTALES DE VIENTO: datos de viento procedentes de medidas instrumentales o registros efectuados tanto en estaciones en tierra como en estaciones marítimas estacionarias, fijas o flotantes.
- DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA O FUNCION ESPECTRAL DEL VIENTO: función que representa la distribución de energía cinética por unidad de masa y por intervalo de frecuencia que se da en un Estado de Viento en un punto determinado, asociada a la componente longitudinal de la velocidad de fluctuación del viento.
- DESPLAZAMIENTO: peso total de un buque a plena carga. Equivale al peso del volumen de agua desplazada por el buque.
- ESLORA: longitud máxima del casco del buque de proa a popa.
- ESTADO DE VIENTO: situación temporal/espacial del viento en la cual puede suponerse el fenómeno como energética y estadísticamente estable; es decir el tiempo durante el cual se puede considerar que los factores que afectan al viento (*generación y disipación*) en un área dada se mantienen en equilibrio. Representa, por tanto, cada una de las situaciones en las que se puede separar la continua evolución del viento.
- ESTADOS LIMITES: aquellos estados o situaciones de la estructura, o de partes de la misma, que de alcanzarse y excederse ponen a la estructura fuera de uso por incumplimiento de las condiciones tensionales o funcionales límite preestablecidas.
- ESTADOS LIMITES DE UTILIZACION O DE SERVICIO: aquellos estados o situaciones que suponen que una estructura o elemento estructural deja de cumplir los requisitos de calidad establecidos en el proyecto (*criterios funcionales, estéticos, de*



*durabilidad, ...*), aunque ello no implique su ruina o puesta fuera de servicio de forma inmediata.

- ESTADOS LIMITES ULTIMOS: situaciones que suponen la puesta fuera de servicio de una determinada obra, estructura o elemento estructural como consecuencia de rotura, hundimiento, pérdida de estabilidad o cualquier otra forma de fallo.
- FASES DE PROYECTO: etapas o situaciones diferenciadas en las cuales se divide normalmente la vida de proyecto de una estructura o instalación.
- FETCH: se define como fetch correspondiente a un punto de observación o previsión a la superficie de agua en la que actúa viento capaz de generar oleaje en el que alguna de sus componentes lleve al punto de observación. Queda generalmente determinado por el parámetro longitud del fetch, definido simplificadaamente como la longitud del área de generación en la dirección principal de actuación del viento generador.
- FRANCOBORDO: altura máxima de la sección transversal emergida del casco de un buque o flotador, medida en las bandas del mismo. Depende del estado de carga del flotador.
- FRECUENCIA DE PICO: frecuencia para la cual la función de densidad espectral alcanza su máximo valor (*pico*).
- HETEROGENEIDAD TOPOGRAFICA LOCAL: accidentes topográficos aislados de escala local.
- ISOBARA: línea que une puntos de igual presión atmosférica en un momento temporal concreto.
- MANGA: anchura máxima de la sección transversal del casco del buque.
- MAPA DE VIENTO: mapa de velocidad básica escalar del viento asociada a un periodo de retorno de 50 años.
- MODELOS DE HINDCASTING: modelos numéricos o paramétricos de previsión de oleaje a partir de la consideración de campos de presiones y/o vientos generadores de oleaje, deducidos de cartas meteorológicas de superficie correspondientes a situaciones pasadas.
- OLEAJE TIPO SEA O MAR DE VIENTO: oleaje que se forma y desarrolla en una superficie líquida bajo la acción directa y continua del viento.
- OLEAJE TIPO SEA EN DESARROLLO: mar de Viento en el que el mecanismo de generación y desarrollo del oleaje está limitado por la longitud del fetch o por la duración de actuación del viento generador.
- OLEAJE TIPO SEA TOTALMENTE DESARROLLADO: mar de Viento que ha alcanzado el equilibrio límite con el viento que lo genera independientemente de la longitud del fetch y de la duración de actuación del viento. Por tanto es un oleaje de viento que ha alcanzado el crecimiento máximo de sus características para una determinada velocidad de viento.
- OLEAJE TIPO SWELL O MAR DE FONDO: oleaje que abandona el área de generación y se propaga a través de superficies marítimas sin estar sometido a la acción significativa del viento, y por tanto atenuándose progresivamente hasta su completa extinción.
- PAPEL PROBABILISTICO: soporte cartesiano con eje o ejes de escala distorsionada (*en el sentido de no lineal*) que posibilita la representación gráfica del tipo de funciones de distribución estadísticas asociadas a dicho papel mediante una recta.
- PERIODO DE PICO DEL OLEAJE: periodo para el cual la función de densidad espectral del oleaje alcanza el valor máximo. Es el inverso de la frecuencia dominante del espectro de oleaje.
- PERIODO DE RETORNO: se define como periodo de retorno de un valor determinado de una variable, el intervalo medio de tiempo en el que dicho valor es superado una sola vez; es decir, el tiempo medio entre dos excedencias consecutivas de dicho valor.

- PERSISTENCIA ESCALAR DEL VIENTO: función de probabilidad que determina el tiempo durante el cual la velocidad del viento permanece de forma continuada por debajo o por encima de un valor prefijado.
- PRESION DINAMICA DEL VIENTO: presión unitaria producida por el viento en aquellos puntos donde su velocidad se anula.
- PUNTAL: altura máxima de la sección transversal del casco de un buque medida desde la quilla hasta la parte superior de la banda.
- REGIMEN EXTREMAL DE VELOCIDAD DEL VIENTO: función de distribución de los valores extremos de la variable velocidad del viento. Relaciona los valores máximos previsibles de esta variable con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en un año.
- REGIMEN MEDIO DIRECCIONAL DE VELOCIDAD DEL VIENTO: relación entre los diversos valores de la variable velocidad del viento con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en el año climático medio, condicionada a que el viento tenga la dirección comprendida en el sector o sectores considerados.
- REGIMEN MEDIO ESCALAR DE VELOCIDAD DEL VIENTO: relación entre los diversos valores de la variable velocidad del viento con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en el año climático medio.
- RIESGO: probabilidad de presentación de un valor extremal de la variable durante un periodo de tiempo preestablecido.
- ROCION: viento que arrastra abundante contenido de agua.
- ROSA DE VIENTOS: representación gráfica comúnmente utilizada de la distribución conjunta velocidad del viento/dirección, o frecuencia de presentación de velocidades de viento en cada sector direccional.
- SECTOR DIRECCIONAL: sector angular de una amplitud determinada.
- SITUACION DE PROYECTO: esquema simplificado de un problema real que incluye una definición de la geometría, las características de los materiales y las acciones, todo lo cual sirve de base para la realización de los cálculos correspondientes. Generalmente deben diferenciarse situaciones persistentes (*fase de servicio*), transitorias (*fase de construcción*) y accidentales.
- SOTAVENTO: zona de una construcción o estructura opuesta a barlovento en la dirección de actuación del viento. (*Ver barlovento*)
- VALOR CARACTERISTICO DE UNA ACCION: aquel valor de la acción asociado a una probabilidad de excedencia durante la vida de proyecto asignada a cada una de las fases e hipótesis de trabajo.
- VALOR EXTREMAL DE UNA VARIABLE: valor máximo periódico de la variable, determinado mediante base estadística.
- VALOR DE CALCULO DE UNA ACCION: o valor ponderado de la acción, es el que resulta de aplicar a los valores representativos de la misma los apropiados coeficientes de seguridad.
- VALOR REPRESENTATIVO DE UNA ACCION: valor de la acción asociado a su nivel de variación en el tiempo.
- VARIABLE REDUCIDA: variable definida mediante un cambio de coordenadas a partir de otra con objeto de posibilitar la expresión matemática de una función, al definirla en términos de variable reducida, como una recta.
- VELOCIDAD BASICA DEL VIENTO: para un Estado de Viento, se define como Velocidad Básica o Velocidad de Referencia a la velocidad media del viento en un intervalo de medición de 10 minutos, medida a 10 m de altura sobre la superficie en mar abierto o campo abierto llano sin obstáculos.
- VELOCIDAD DE RAFAGA: se define como velocidad de ráfaga asociada a una duración  $t$  en un punto determinado al valor medio de la velocidad instantánea del viento en dicho punto en un intervalo de medición  $t$ .

- VELOCIDAD DE VIENTO MAXIMA O VELOCIDAD DE RAFAGA MAXIMA: máxima velocidad de ráfaga que se produce en un Estado de Viento asociada a un intervalo de medición determinado.
- VELOCIDAD EFICAZ DEL VIENTO: velocidad media del viento corregida con objeto de tener en cuenta la relación no lineal entre la velocidad del viento y su capacidad de arrastre.
- VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO: valor medio de la velocidad instantánea del viento en un intervalo de 10 minutos.
- VIDA UTIL: duración de la fase de servicio.
- VIENTO DE GRADIENTE: viento en la atmósfera libre que resulta del equilibrio de las fuerzas que intervienen en la generación del viento en el caso de isobaras curvas.
- VIENTO GEOSTROFICO: viento en la atmosfera libre que resulta del equilibrio de las fuerzas que intervienen en la generación del viento en el caso de isobaras rectas.

#### 1.4. SISTEMA DE UNIDADES

El sistema de unidades usado en estas Recomendaciones corresponde al sistema legal de medida obligatorio en España, denominado Sistema Internacional de Unidades (SI).

Las unidades básicas y derivadas del Sistema Internacional más comúnmente utilizadas en estas Recomendaciones son las siguientes:

- Longitud : m (*metro*).
- Superficie : m<sup>2</sup> (*metro cuadrado*).
- Volumen : m<sup>3</sup> (*metro cúbico*).
- Tiempo : s (*segundo*), min (*minuto*) y h (*hora*).
- Masa : kg (*kilogramo*), g (*gramo*) y t (*tonelada*).
- Densidad : kg/m<sup>3</sup>.
- Fuerza : N (*Newton*) o su múltiplo kN (*kilonewton*).
- Presión o Tensión : Pa (*Pascal*) ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ).
- Sobrecarga : N/m<sup>2</sup> o su múltiplo kN/m<sup>2</sup>.
- Frecuencia : Hz (*Hertz*) ( $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ ).
- Viscosidad cinemática : m<sup>2</sup>/s.

En algunos casos, y debido a la gran tradición con que cuenta en los sectores marítimo y naval, podrá aceptarse excepcionalmente la utilización del nudo como unidad de velocidad. La equivalencia entre el nudo y las unidades correspondientes del Sistema Internacional es: 1 nudo = 0.5147 m/s.

#### 1.5. NOTACIONES

Las notaciones, abreviaturas y símbolos convencionales fundamentales empleados en estas Recomendaciones y sus unidades se detallan en la tabla 1.5.1.

#### 1.6. REFERENCIAS DOCUMENTALES

Durante las fases correspondientes a la redacción de la versión de ponencia de esta Recomendación y de discusión de la misma por parte de la Comisión Técnica se han consultado varias publicaciones técnicas, prestando una especial atención a aquéllas con objetivos similares (*normativas, códigos de buena práctica, documentos de comités técnicos o grupos de trabajo especializados, etc...*). Estos documentos de referencia son los que principalmente se relacionan a continuación.

Por otra parte, de las numerosas publicaciones y artículos técnicos consultados únicamente se referencian aquéllos que se consideran de mayor interés, con el objeto de que puedan ser consultados por el usuario de estas Recomendaciones en el caso de necesitar aclaraciones o desarrollos complementarios.

- [1] *American standard building Code Requirements for minimum design loads in buildings and other structures.*  
American National Standards Institution. New York, 1972.
- [2] *An introduction to wind effects on structures. C.Scruton.*  
Oxford University Press. Londres, 1981.
- [3] *Atlas basado sobre observaciones visuales de barcos en ruta. Nivel I: condiciones medias para el año medio.*  
Publicación nº 28 del Programa de Clima Marítimo. Dirección General de Puertos y Costas. Madrid, 1988.
- [4] *British standard code of practice for maritime structures. Part 1. General Criteria.*  
British Standards Institution. Londres, 1984.
- [5] *British standard code of practice for maritime structures. Part 6. Design of inshore moorings and floating structures.*  
British Standards Institution. Londres, 1988.
- [6] *Calcul des effets du vent sur les constructions. Recommandations de la CECM.*  
Construction Métallique nº 3-1979.
- [7] *Code of basic data for the design of buildings. Chapter V. Loading. Part 2. Wind loads.*  
British Standards Institution. Londres, 1986.
- [8] *Code of practice for fixed offshore structures.*  
British Standards Institution. Londres, 1982.
- [9] *Colaboración a la ROM 0.4. Viento.*  
Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX. Madrid, 1993.
- [10] *Eurocode 1. Basis of design and actions on structures. Part 1. Basis of design and Part 2.3. Wind action (Draft Documents).*
- [11] *Manual Canadien de calcul des structures. Supplément nº 4 au Code National du Bâtiment.*  
Conseil National de Recherche du Canada. Ottawa, 1970.
- [12] *Mapa Eólico Nacional.*  
Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. Madrid, 1988.
- [13] *NAVFAC Manuals. DM-2.2. Loads.*  
Department of the Navy. Naval Facilities Command. U.S. Washington, 1980.
- [14] *Norma básica de la edificación NBE-AE/88 "Acciones en la Edificación".*  
Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid, 1988.
- [15] *Normas técnicas sobre obras e instalaciones de ayudas a la navegación.*  
Dirección General de Puertos y Costas. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid, 1986.
- [16] *Rapport du Group de Travail I. Méthodes d'analyse des données concernant le vent, les lames et les houles,...*  
Commission internationale pour la reception des grands navires. AIPCN-PIANC. Annexe au Bulletin nº 32. Bruselas, 1979.
- [17] *Recommendations of the Committee for Waterfront Structures, Harbours and Waterways. EAU 1990.*  
Society for harbour engineering and the German society for soil mechanics and foundation engineering. Ernst & Sohn. Berlin, 1992.
- [18] *Regulamento de segurança e açoes para estruturas de edificios e pontes.*  
Imprensa Nacional-Casa da Moeda. Lisboa, 1988.

- [19] *ROM 0.2-90. Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias.*  
Dirección General de Puertos y Costas. Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo.  
Madrid, 1990.
- [20] *Rules and regulations for the construction and classification of offshore platforms.*  
Bureau Veritas. París, 1975.
- [21] *Rules for the design, construction and inspection of offshore structures.*  
Det Norske Veritas. Oslo, 1977.
- [22] *Rules for the design of hoisting appliances.*  
Federation Européenne de la Manutention (FEM), 1987.
- [23] *Shore Protection Manual.*  
Coastal Engineering Research Center (CERC). Department of the Army.  
Washington, 1984.
- [24] *Technical standards for port and harbour facilities in Japan.*  
Bureau of ports and harbours. Ministry of transports. Tokio, 1983.
- [25] *Wind effects on structures: an introduction to wind engineering. Simiu & Scanlan.*  
John Wiley & Sons. New York, 1978.



TABLA 1.5.1. NOTACIONES, ABREVIATURAS Y SIMBOLOS CONVENCIONALES FUNDAMENTALES UTILIZADOS EN ESTAS RECOMENDACIONES

I. MAYUSCULAS LATINAS		
SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
A	Parámetro de posición de la función de Weibull.	*
A	Factor de excitación.	*
A <sub>e</sub>	Area frontal efectiva asociada a un determinado coeficiente eólico de fuerza.	m <sup>2</sup>
A <sub>er</sub>	Area efectiva de rozamiento en la dirección de actuación del viento.	m <sup>2</sup>
A <sub>ex</sub>	Area efectiva para viento actuando en la dirección del eje x.	m <sup>2</sup>
A <sub>ey</sub>	Area efectiva para viento actuando en la dirección del eje y.	m <sup>2</sup>
A <sub>k</sub>	Valor característico de una acción accidental.	—
A <sub>opac</sub>	Area de toda la superficie (maciza o no) limitada por el contorno exterior de una estructura, proyectada sobre un plano normal a la dirección de actuación del viento.	m <sup>2</sup>
B	Parámetro de escala de la función de Weibull.	*
B	Manga del buque.	m
B <sub>s</sub>	Factor de reducción.	*
C	Parámetro de forma de la función de Weibull.	*
C	Fuerza de coriolis.	N
C <sub>D</sub>	Coficiente de arrastre superficial.	*
C <sub>f</sub>	Factor de forma o coeficiente eólico de fuerza.	*
C <sub>fe</sub>	Factor de forma o coeficiente eólico de fuerza efectivo.	*
C <sub>fr</sub>	Coficiente eólico de rozamiento o arrastre.	*
C <sub>fx</sub>	Coficiente eólico de fuerza para viento actuando en la dirección del eje x.	*
C <sub>fy</sub>	Coficiente eólico de fuerza para viento actuando en la dirección del eje y.	*
C <sub>g</sub>	Coficiente geostrófico de arrastre.	*
C <sub>p</sub>	Coficiente eólico de presión.	*
C <sub>pe,b</sub>	Coficiente eólico de presión para cara exterior a barlovento.	*
C <sub>pe,l</sub>	Coficiente eólico de presión local.	*
C <sub>pe,s</sub>	Coficiente eólico de presión para cara exterior a sotavento.	*
C <sub>pi,b</sub>	Coficiente eólico de presión para cara interior a barlovento.	*
C <sub>pi,s</sub>	Coficiente eólico de presión para cara interior a sotavento.	*
C <sub>p,net</sub>	Coficiente eólico de presión neto.	*
C <sub>p,net,l</sub>	Coficiente eólico de presión local neto.	*
C <sub>p,remol</sub>	Coficiente eólico para el cálculo de la presión estática equivalente a los efectos dinámicos producidos por los remolinos de Von Karman.	*
C <sub>v</sub>	Factor eólico de arrastre.	*
C <sub>vx</sub>	Factor eólico de arrastre para viento actuando en la dirección del eje x.	*
C <sub>vy</sub>	Factor eólico de arrastre para viento actuando en la dirección del eje y.	*
E	Riesgo.	*
E	Módulo de deformación de un material.	N/m <sup>2</sup>
F	Factor de velocidad de viento.	*
F <sub>A</sub>	Factor de altura y de rugosidad superficial.	*
F <sub>R</sub>	Factor de ráfaga máxima o simplícadamente factor de ráfaga.	*
F <sub>R,t(z)</sub>	Factor de ráfaga máxima correspondiente a una duración t y a una altura z.	*

TABLA 1.5.1. (Continuación)

SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
$F_{R,3s}(10)$	Factor de ráfaga máxima correspondiente a una duración de 3 s y a una altura de 10 m.	*
$F_{R,5s}(10)$	Factor de ráfaga máxima correspondiente a una duración de 5 s y a una altura de 10 m.	*
$F_{R,15s}(10)$	Factor de ráfaga máxima correspondiente a una duración de 15 s y a una altura de 10 m.	*
$F_{R,1min}(10)$	Factor de ráfaga máxima correspondiente a una duración de 1 minuto y a una altura de 10 m.	*
$F_{R,10min}$	Factor de ráfaga máxima correspondiente a una duración de 10 minutos.	*
$F_T$	Factor topográfico.	*
$F_c$	Fuerza centrífuga.	N
$F_r$	Fuerza de arrastre.	N
G	Francobordo del buque.	m
H	Altura efectiva de una heterogeneidad topográfica (colina, sierra, acantilado o ladera), medida sobre el nivel cero efectivo de la superficie a barlovento de la misma.	m
$\frac{H_s}{H}$	Altura de ola significativa.	m
	Altura del nivel cero efectivo sobre la superficie.	m
I	Momento de inercia.	m <sup>4</sup>
I(z)	Intensidad de la turbulencia a una altura z sobre la superficie del terreno.	*
J	Factor espectral.	*
$K_e$	Coefficiente de excentricidad para la determinación del punto de aplicación de la fuerza total de arrastre debida al viento en un buque.	*
$K_T$	Coefficiente que permite obtener la velocidad del viento asociada a un periodo de retorno T a partir de la asociada a un periodo de retorno de 50 años.	*
$K_\alpha$	Coefficiente de direccionalidad.	*
L	Longitud de la proyección horizontal del talud de barlovento sobre el nivel cero efectivo de la superficie a barlovento de una heterogeneidad topográfica (colina, sierra, acantilado o ladera).	m
L	Eslora de un buque.	m
$L_e$	Longitud efectiva del talud a barlovento de una heterogeneidad topográfica.	m
$L_{pp}$	Eslora entre perpendiculares de un buque.	m
$L_F$	Longitud del fetch.	m
$L_{F,efec}$	Longitud del fetch efectiva.	m
$L_f$	Vida útil.	años
$L_1$	Anchura de un valle medida perpendicularmente al eje longitudinal del mismo.	m
$M_e$	Masa concentrada equivalente de una estructura.	kg
$M_v$	Momento resultante de torsión debido a la acción del viento.	N·m
N	Número total de ocurrencias, tanto de las excedencias como de las no excedencias, de un determinado valor prefijado.	—

TABLA 1.5.1. (Continuación)

SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
$N_i$	Número de observaciones de viento en todas las direcciones contenidas en el sector direccional i.	—
$N_T$	Número total de observaciones de viento válidas en todas las direcciones.	—
$N(\tau)_{\geq V_{v0}}$	Número de ocurrencias de las excedencias del valor umbral $V_{v0}$ de duración $\geq \tau$ .	—
$P$	Fuerza de gradiente de presión.	N
$P(V_{v0})$	Probabilidad total de no excedencia del nivel $V_{v0}$ de velocidad de viento.	—
$P(\bar{V}_v)$	Función de distribución de la velocidad media del viento.	—
$P(x)$	Función de distribución de la variable x.	—
$P_i(V_{v0})$	Probabilidad absoluta de no excedencia del nivel $V_{v0}$ de velocidad de viento, correspondiente al sector direccional i.	—
$P_i^c(V_{v0})$	Probabilidad condicional de no excedencia del nivel $V_{v0}$ de velocidad de viento, obtenida del régimen medio direccional correspondiente al sector i.	—
$Q(\tau)_{\geq V_{v0}}$	Persistencia estadística de las excedencias de $V_{v0}$ .	—
$Q_M$	Acción variable medioambiental, natural o climática.	—
$Q_{M4}$	Carga de viento.	—
$Q_{M4k}$	Valor característico de la acción de viento.	—
$Q_{v2}$	Sobrecargas de equipos e instalaciones de manipulación de mercancías.	—
$Q_{v5}$	Sobrecargas de operaciones de buques.	—
$R_e$	Número de Reynolds.	*
$R_v$	Fuerza resultante de la presión de viento.	N
$R_v(t)$	Fuerza dinámica debida a la acción del viento.	N
$R_{v,equiv}$	Carga estática equivalente a la acción dinámica del viento.	N
$R_{vf}(\tau)$	Función de autocorrelación de la velocidad de fluctuación del viento en el dominio de la frecuencia.	—
$R_{v,opac}$	Fuerza resultante de presión debido a la actuación del viento sobre la totalidad de una estructura no maciza, considerando la existencia de un efecto global de opacidad al viento.	N
$R_{v,som}$	Fuerza resultante de la presión de viento en estructuras situadas a sotavento de otras, tomando en consideración el efecto sombra.	N
$R_{vr}$	Fuerza resultante de rozamiento o arrastre debida al viento.	N
$R_{vt}$	Fuerza total de arrastre resultante de la acción del viento sobre un flotador.	N
$R_{vx}$	Componente según la dirección del eje x de la fuerza resultante de la presión de viento.	N
$R_{vy}$	Componente según la dirección del eje y de la fuerza resultante de la presión de viento.	N
$\bar{R}_v$	Componente media de la fuerza del viento considerada como acción dinámica.	N
$S$	Factor de reducción.	*
$S_S$	Factor de intensidad de turbulencia de la estela.	*
$S_{r_v}(f)$	Función de densidad espectral de potencia para la componente de fluctuación de la acción del viento.	$N^2 \cdot s$
$S_t$	Número de Strouhal.	*
$S_{vf}(f)$	Función de densidad espectral de potencia correspondiente a la componente longitudinal de la velocidad de fluctuación del viento.	$m^2/s$

TABLA 1.5.1. (Continuación)

SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
$S_x(f)$	Espectro de respuesta.	$m^2 \cdot s$
T	Duración de un registro de viento o de una muestra representativa del mismo.	min ó h
T	Periodo de retorno.	años
T	Periodo del oleaje.	s
$T_p$	Periodo de pico del oleaje.	s
$T(X_i)$	Periodo de retorno de la variable $X_i$ .	años
$U_A$	Velocidad eficaz del viento.	m/s
$V_b$	Velocidad básica del viento.	m/s
$V_{b T,\alpha}$	Velocidad básica del viento en la dirección $\alpha$ , asociada a un periodo de retorno T.	m/s
$V_{b 50 \text{ años}}$	Velocidad básica escalar del viento, asociada a un periodo de retorno de 50 años.	m/s
$V_g$	Velocidad del viento geostrófico.	m/s
$V_{gr}$	Velocidad del viento de gradiente.	m/s
$V_v(t)$	Velocidad instantánea del viento.	m/s
$V_{vf}(t)$	Componente longitudinal de la velocidad de fluctuación del viento.	m/s
$V_{v,crit}$	Velocidad crítica del viento para una estructura determinada, a partir de la cual se producen efectos dinámicos significativos debido a la aparición de remolinos de Von Karman.	m/s
$V_{v,e}$	Velocidad del viento estimada desde buques en ruta.	m/s
$V_{v,t}$	Velocidad instantánea del viento asociada a un intervalo de medición t.	m/s
$V_{v,t}(z)$	Velocidad de ráfaga asociada a un intervalo de medición t, a una altura z sobre la superficie del terreno.	m/s
$V_{v,t max}$	Velocidad del viento máxima probable o velocidad de ráfaga máxima asociada a un intervalo de medición t.	m/s
$V_{v,t max}(z)$	Velocidad de ráfaga máxima asociada a un intervalo de medición t, a una altura z sobre la superficie del terreno.	m/s
$V_{v,t T,\alpha}$	Velocidad del viento de proyecto en la dirección $\alpha$ , asociada a un periodo de retorno T, correspondiente a un intervalo de medición o duración de ráfaga t.	m/s
$V_{v,3s}$	Velocidad de ráfaga máxima asociada a un intervalo de medición de 3 s.	m/s
$V_{v,5s}$	Velocidad de ráfaga máxima asociada a un intervalo de medición de 5 s.	m/s
$V_{v,15s}$	Velocidad de ráfaga máxima asociada a un intervalo de medición de 15 s.	m/s
$V_{v,1min}$	Velocidad de ráfaga máxima asociada a un intervalo de medición de 1 min.	m/s
$V_{v,10min}(z)$	Velocidad media del viento correspondiente a una altura z sobre la superficie del terreno.	m/s
$V_{v0}^*$	Velocidad de fricción del viento.	m/s
$\overline{V}_v$	Velocidad media del viento.	m/s
$\overline{V}_v(z)$	Velocidad media del viento a una altura z sobre la superficie del terreno.	m/s
$\overline{V}_v(10)$	Velocidad media del viento a 10 m de altura sobre la superficie del terreno.	m/s
$\overline{V}_v _I$	Velocidad media del viento considerando superficie del terreno en categoría I de rugosidad superficial.	m/s
$X_i$	Variable.	—
$Y_i$	Flecha de una estructura en el punto i, en la dirección de la oscilación.	m

TABLA 1.5.1. (Continuación)

II. MINUSCULAS LATINAS		
SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
a	Dimensión geométrica de una construcción en planta.	m
b	Dimensión geométrica de una construcción en planta.	m
b	Diámetro de una sección circular.	m
$b_{\alpha}$	Menor dimensión de la superficie proyección de una estructura en un plano perpendicular a la dirección de actuación del viento.	m
c	Dimensión geométrica de una construcción.	m
c	Características de amortiguamiento de una estructura.	kg/s
d	Dimensión geométrica de una construcción en planta.	m
d	Profundidad de agua.	m
$\overline{d_{AB}}$	Distancia entre dos isobaras.	<sup>o</sup> terrestre
$dp/dn$	Gradiente horizontal de presiones o máxima pendiente barométrica en un punto.	Pa/ <sup>o</sup> terrestre
e	Excentricidad de una carga.	m
f	Parámetro de Coriolis.	rad/s
f	Variable frecuencia.	Hz
$f_i$	Frecuencia de presentación del sector direccional i.	—
$f_n$	Frecuencia natural o propia de una estructura.	Hz
$f_{ni}$	Frecuencia natural de una estructura correspondiente al modo de oscilación i.	Hz
$\overline{f}$	Frecuencia adimensional.	*
g	Aceleración de la gravedad.	m/s <sup>2</sup>
g(t)	Factor de pico asociado a un intervalo de medición t.	*
h	Profundidad de un valle en el punto considerado, medida desde el nivel efectivo de la superficie del terreno.	m
h	Altura de una construcción.	m
$h_p$	Altura del pretil de una construcción.	m
$h_L$	Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano paralelo al plano longitudinal del buque.	m
$h_T$	Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano normal al plano longitudinal del buque.	m
k	Constante de Von Karman.	*
k	Factor de reducción para coeficientes eólicos de fuerza en función de la esbeltez del elemento estructural.	*
k	Rigidez de una estructura.	N/m
l	Dimensión longitudinal de un elemento estructural.	m

TABLA 1.5.1. (Continuación)

SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
m	Masa.	kg
$m_e$	Masa equivalente de la estructura por unidad de longitud.	kg/m
p	Sobrecarga unitaria debida al viento.	Pa
$\rho(\bar{V}_v)$	Función de densidad marginal de la velocidad media del viento.	—
$p_A$	Presión atmosférica en la isobara A.	Pa
$p_B$	Presión atmosférica en la isobara B.	Pa
$p_{equiv,rem}$	Presión estática equivalente a los efectos dinámicos producidos por los remolinos de Von Karman.	Pa
$q_{v,t}(z)$	Presión dinámica del viento asociada a la velocidad del viento $V_{v,t}(z)$ .	Pa
r	Radio de curvatura.	m
r	Factor de rugosidad.	*
$r_v(t)$	Componente de fluctuación de la fuerza del viento considerada como acción dinámica.	N
s	Parámetro utilizado para la definición del factor topográfico. Se define en función de la altura z sobre el nivel local del terreno y de la proyección horizontal de la distancia a la cumbre de la heterogeneidad topográfica (x), relativas a $L_e$ .	*
s	Espaciamiento entre dos remolinos consecutivos de Von Karman.	m
t	Variable tiempo.	s
x	Proyección horizontal de la distancia entre la cumbre de una heterogeneidad topográfica y un punto.	m
$x_r$	Variable reducida en ordenadas.	—
$y_{sup}$	Desplazamiento horizontal del punto superior de una estructura.	m
$y_r$	Variable reducida en abscisas.	—
z	Variable altura.	m
z	Altura efectiva sobre la superficie.	m
z	Altura sobre el nivel local del terreno.	m
$z_g$	Altura sobre la superficie del terreno para la cual la velocidad media del viento coincide con la velocidad del viento de gradiente.	m
$z_0$	Altura de rugosidad superficial.	m
III. GRIEGAS		
SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
$\alpha$	Medida genérica de un ángulo.	grados
$\alpha$	Ángulo de inclinación respecto a la horizontal de una mansarda.	grados
$\alpha$	Ángulo formado entre la dirección de actuación del viento y el eje x.	grados
$\alpha$	Ángulo formado entre el eje longitudinal de un buque o flotador y la dirección de actuación del viento.	grados
$\alpha_z$	Ángulo de desviación entre la dirección de la velocidad del viento geostrófico o de gradiente y la dirección de la velocidad media del viento en la capa de transición, a una altura z sobre la superficie.	grados

TABLA 1.5.1. (Continuación)

SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
$\alpha_0$	Angulo de desviación entre la dirección de la velocidad del viento geostrófico o de gradiente y la dirección de la velocidad media del viento en la capa límite superficial.	grados
$\bar{\alpha}$	Dirección media del viento o del oleaje.	grados
$\beta$	Constante adimensional.	*
$\beta$	Angulo de inclinación respecto a la horizontal de una cubierta.	grados
$\beta$	Indice de huecos o factor de opacidad aerodinámico.	*
$\beta$ y $\beta(f)$	Coefficiente de influencia aerodinámica.	*
$\gamma_f$	Coefficiente de seguridad para obtener el valor de cálculo de las acciones a partir de su valor característico.	*
$\gamma_{fa}$	Coefficiente de seguridad para obtener el valor de cálculo de las acciones para situaciones accidentales.	*
$\gamma_{fq}$	Coefficiente de seguridad para obtener el valor de cálculo de las acciones para situaciones persistentes y transitorias.	*
$\Delta n$	Distancia entre dos isobaras.	<sup>a</sup> terrestre
$\Delta p/\Delta n$	Gradiente horizontal de presiones o máxima pendiente barométrica en un punto.	Pa/ <sup>a</sup> terrestre
$\zeta$	Fracción de amortiguamiento crítico de una estructura.	*
$\zeta_i$	Fracción de amortiguamiento crítico de una estructura para el modo de oscilación a flexión i.	*
$\eta$	Factor de sombra.	*
$\lambda$	Esbeltez o relación h/b en la cara de la construcción perpendicular a la dirección de actuación del viento.	*
$\theta$	Variable ángulo.	grados
$\mu$	Factor de abertura de una construcción no estanca a los efectos de su permeabilidad al viento.	*
$\mu$	Factor de espaciamiento entre dos construcciones.	*
$\nu$	Viscosidad cinemática del aire.	m <sup>2</sup> /s
$\xi$	Constante utilizada para valorar el índice de huecos aerodinámico.	*
$\rho$	Densidad del aire.	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_w$	Densidad del agua.	kg/m <sup>3</sup>
$\sigma_v^2$	Varianza de un registro de velocidad de viento.	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
$\sigma_{vf}$	Desviación estándar de la componente de fluctuación de la velocidad del viento.	m/s
$\sigma_{vf}^2$	Varianza de la componente de fluctuación de la velocidad del viento.	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
$\sigma_{rv}^2$	Varianza de la componente de fluctuación de la fuerza del viento.	N <sup>2</sup>
$\tau$	Duración de las persistencias.	s
$\tau_0$	Fuerza de arrastre superficial del viento por unidad de superficie.	N/m <sup>2</sup>





## PARTE 2

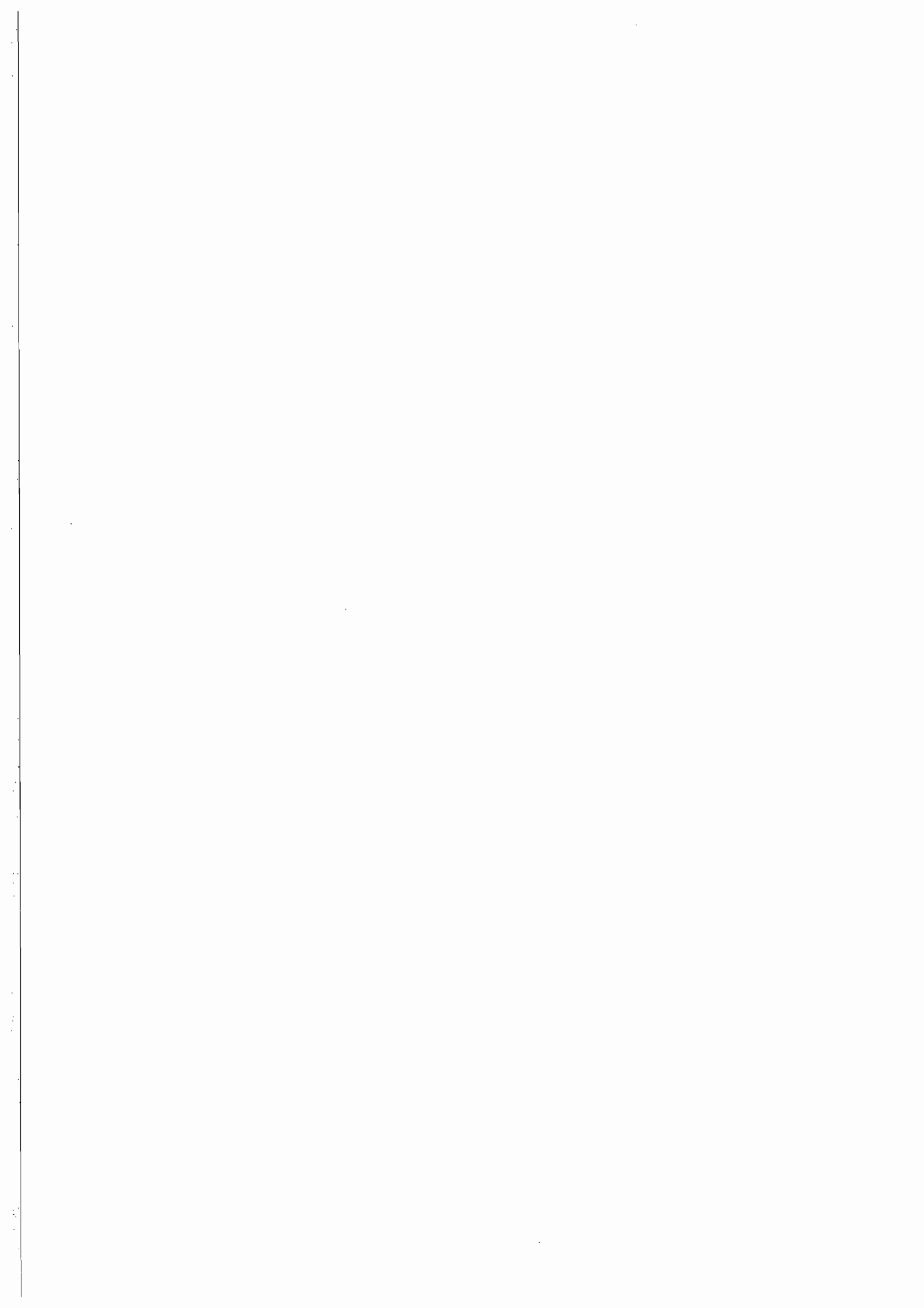
## CARACTERIZACION DEL VIENTO

### Indice

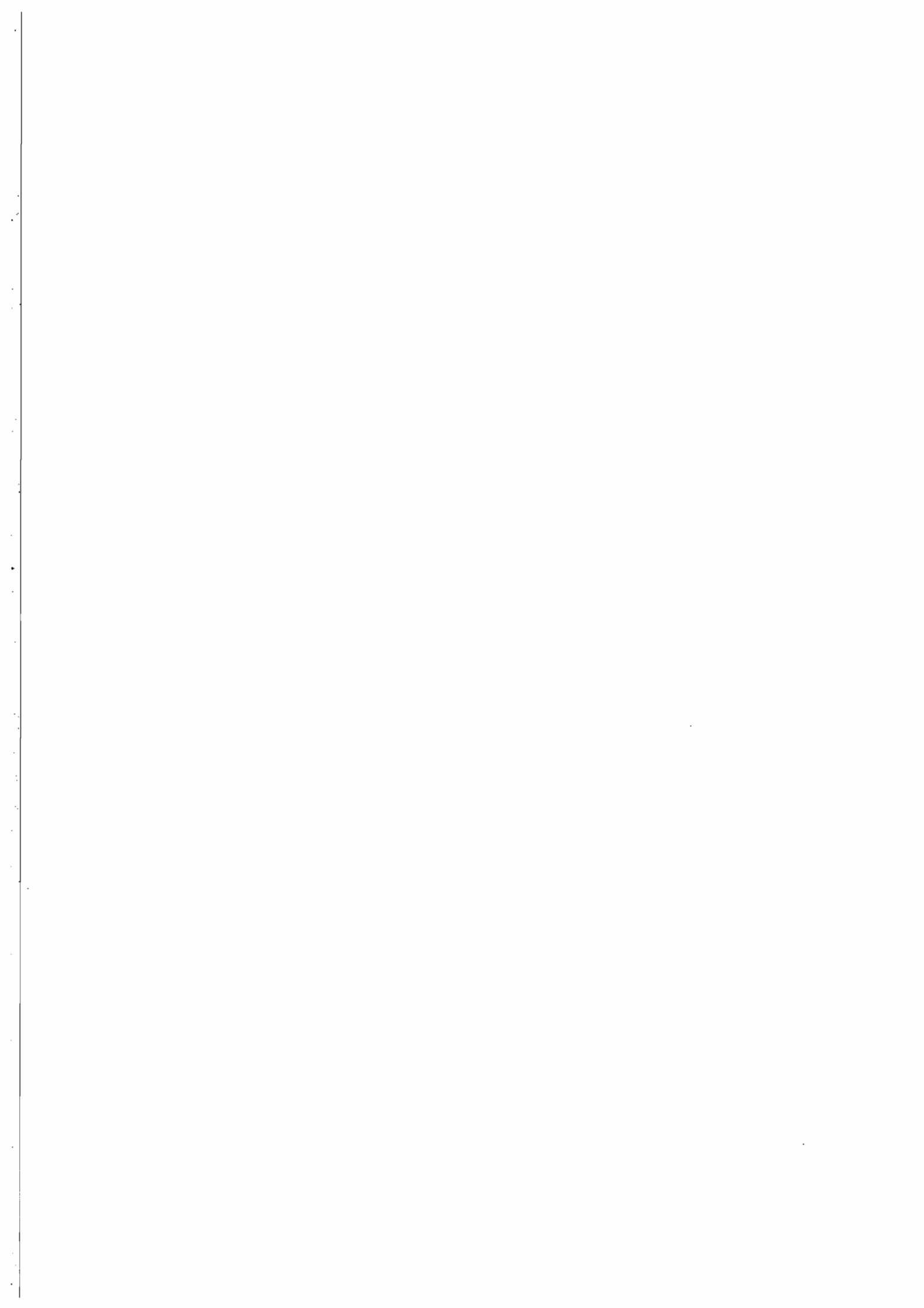
2.1. CARACTERIZACION DEL VIENTO EN PERIODOS DE CORTA DURACION .....	41
2.1.1. ESTADO DE VIENTO .....	41
2.1.2. PERFIL DE VELOCIDADES DE UN ESTADO DE VIENTO .....	43
2.1.2.1. CARACTERISTICAS DEL VIENTO EN LA ATMOSFERA LIBRE. VIENTO GEOSTROFICO Y VIENTO DE GRADIENTE .....	43
2.1.2.2. CARACTERISTICAS DEL VIENTO EN LAS CAPAS BAJAS DE LA ATMOSFERA. VIENTO EN LA CAPA LIMITE PLANETARIA.....	48
2.1.2.2.1. DESCRIPCION ESTADISTICA DEL VIENTO .....	49
a. VARIACION DE LA VELOCIDAD MEDIA CON LA ALTURA Y LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL .....	51
b. VARIACION DE LA DIRECCION MEDIA DEL VIENTO CON LA ALTURA Y LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL.....	54
c. VELOCIDAD MAXIMA PROBABLE.....	54
2.1.2.2.2. DESCRIPCION ESPECTRAL DEL VIENTO .....	55
2.1.3. VELOCIDAD BASICA DEL VIENTO .....	58
2.1.4. FACTORES DE VELOCIDAD DE VIENTO .....	58
2.1.4.1. FACTOR DE ALTURA Y DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL ( $F_A$ ).....	58
2.1.4.2. FACTOR TOPOGRAFICO ( $F_T$ ).....	59
2.1.4.3. FACTOR DE RAFAGA MAXIMA ( $F_R$ ) .....	60
2.2. CARACTERIZACION DEL VIENTO EN PERIODOS LARGOS DE TIEMPO .....	63
2.2.1. CONSIDERACIONES GENERALES .....	63
2.2.2. DATOS DE PARTIDA .....	65
2.2.2.1. REGISTROS INSTRUMENTALES .....	65
2.2.2.2. OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA .....	66
2.2.2.3. ESTIMAS DE CAMPOS DE VIENTO A PARTIR DE CARTAS METEOROLOGICAS .....	69
2.2.3. ROSA DE VIENTOS.....	69
2.2.4. ANALISIS ESTADISTICO UNIDIMENSIONAL DE LA VARIABLE VELOCIDAD DEL VIENTO .....	71
2.2.4.1. REGIMENES MEDIOS.....	71
2.2.4.2. REGIMENES EXTREMALES .....	73
2.2.5. ANALISIS DE PERSISTENCIAS.....	77



2.1.1.1.	Ejemplo de Anemograma. Observatorio de San Sebastián ( <i>Igueldo</i> ). 25 Diciembre 1993 .....	42
2.1.1.2.	Modelo Estadístico de descripción de un Estado de Viento. Parámetros Representativos .....	43
2.1.2.1.	Perfil vertical de módulos del vector velocidad media del viento .....	44
2.1.2.1.1.	Equilibrio de fuerzas y viento en la atmósfera libre ( <i>Isobaras rectas. Hemisferio Norte</i> ).....	45
2.1.2.1.2.	Equilibrio de fuerzas y viento en la atmósfera libre ( <i>Isobaras curvas. Hemisferio Norte</i> ).....	48
2.1.2.2.1.	Viento en la Capa Límite Planetaria ( <i>Isobaras rectas. Hemisferio Norte</i> ). Espiral de Ekman .....	50
2.1.2.2.2.	Velocidad media del viento a 10 m de altura en mar abierto, en función de la velocidad del viento de gradiente. ( <i>Según Resio y Vicent, 1977</i> ).....	53
2.1.2.2.3.	Espectro de Energía del Viento reducido tipo correspondiente a la componente longitudinal de la velocidad de fluctuación. ( <i>Davenport y Harris, 1971</i> ) .....	56
2.2.1.1.	Ejemplo de Curva de Estado de Viento. ( <i>Curva de <math>\bar{V}_v</math></i> ) .....	64
2.2.3.1.	Ejemplo de Rosa Anual de Vientos realizada a partir de datos estimados desde buques en ruta ( <i>1885-1985</i> ). Area IV ( <i>Suratlántica</i> ).....	70
2.2.4.1.1.	Régimen medio anual de velocidad de viento $\bar{V}_v$ , realizado a partir de datos instrumentales. Distribución de Weibull biparamétrica. Estación de Tarifa, 1974-1978.....	75
2.2.4.2.1.	Régimen extremal escalar instrumental de velocidad de viento $V_{v,3s}$ . Distribución de Gumbel. Estación de Tarifa, 1975-1990 .....	78
2.2.5.1.	Significado físico de la persistencia escalar en términos de duración y número de ocurrencias a partir de la Curva de Estado de Viento .....	82
2.2.5.2.	Estimas de la persistencia del viento para excedencias de diferentes niveles umbral de la velocidad del viento, a partir de datos procedentes de observaciones desde buques en ruta. Zona Suratlántica ( <i>Area IV</i> ) .....	84



2.1.2.1.1.	Abaco para la obtención de la velocidad del viento geostrófico a partir de las cartas meteorológicas de superficie .....	46
2.1.2.1.2.	Tabla para la obtención de la velocidad del viento geostrófico a partir de cartas meteorológicas con isobaras a intervalos de presión de 4 hPa ( <i>Viento en m/s</i> ).....	47
2.1.2.1.3.	Tabla para la obtención de la velocidad del viento de gradiente ( $V_{gr}$ ) a partir de las cartas meteorológicas de superficie. Circulación ciclónica .....	49
2.1.2.1.4.	Tabla para la obtención de la velocidad del viento de gradiente ( $V_{gr}$ ) a partir de las cartas meteorológicas de superficie. Circulación anticiclónica.....	50
2.1.2.2.1.	Valores aproximados de $z_0$ , $z_g$ , $C_g$ , $C_D$ y $\beta$ en función del tipo genérico de superficie .....	53
2.1.4.1.1.	Categorías de rugosidad superficial para la definición de los factores de velocidad de viento ( $F$ ) y valores de los parámetros asociados .....	59
2.1.4.1.2.	Factor de altura y de rugosidad superficial ( $F_A$ ).....	60
2.1.4.2.1.	Factor topográfico ( $F_T$ ) .....	61
2.1.4.3.1.	Factor de ráfaga máxima ( $F_R$ ).....	63
2.2.2.2.1.	Escala Beaufort de velocidad del viento. Equivalencia entre el número Beaufort y la velocidad media del viento a una altura de referencia de 10 m sobre la superficie en mar abierto o campo abierto plano sin obstáculos .....	68
2.2.4.1.1.	Papel probabilístico correspondiente a la distribución de Weibull biparamétrica .....	74
2.2.4.2.1.	Papel probabilístico correspondiente a la distribución de Gumbel.....	79
2.2.4.2.2.	Papel probabilístico correspondiente a la distribución de Weibull.....	80
2.2.4.2.3.	Papel probabilístico correspondiente a la distribución de Fisher Tipett II.....	81



## PARTE 2

## CARACTERIZACION DEL VIENTO

### 2.1. CARACTERIZACION DEL VIENTO EN PERIODOS DE CORTA DURACION

#### 2.1.1. ESTADO DE VIENTO

El modelo clásico general para la caracterización del viento en las capas bajas de la atmósfera parte de admitir una serie de hipótesis simplificadoras en general limitadoras de la variabilidad aleatoria del mismo, que cumpliéndose razonablemente en la naturaleza permitan la descripción del viento en un área y durante un tiempo dados mediante sus características en un punto y en un cierto instante. Dicho modelo está basado en suponer que en un punto determinado el viento puede considerarse como una sucesión continua de "ESTADOS DE VIENTO" o situaciones energéticas estacionarias de pequeña duración.

Se define como *Estado de Viento* a la situación temporal/espacial del viento en la cual puede suponerse el fenómeno como energética y estadísticamente estable, es decir el tiempo durante el cual se puede considerar que los factores que afectan al viento (*generación y disipación*) en un área dada se mantienen en equilibrio. Representa, por tanto, cada una de las situaciones en las que se puede separar la continua evolución del viento. En cada una de ellas el viento puede ser tratado como un proceso aleatorio, estacionario en el tiempo y ergódico (*muestras temporales distintas de extensión finita suficiente, son estadísticamente iguales*). (Ver figura 2.1.1.2).

En esta situación puede admitirse que, en condiciones ideales <sup>2)</sup>, el viento es horizontalmente homogéneo en el espacio. La no homogeneidad horizontal del viento es debida fundamentalmente a condiciones de la superficie terrestre (*cambios en la rugosidad superficial e irregularidades topográficas principalmente*) o a la naturaleza meteorológica del fenómeno que lo causa (*p.e. huracanes, ciclones tropicales, tornados y otros vientos locales*). Dada la situación de España en latitudes medias, no se consideran estos fenómenos meteorológicos de carácter fundamentalmente tropical dentro del ámbito de aplicación de esta Recomendación.

La duración de un Estado de Viento depende de la magnitud del fenómeno y de la masa en que se genera. Como orden de magnitud se puede considerar que un Estado de Viento tiene una duración entre 1 y 3 horas. Bajo estas condiciones, puede admitirse la descripción del viento en periodos cortos de tiempo a partir de una única observación o registro. El intervalo mínimo de registro viene impuesto por la exigencia de calidad estadística de la muestra. Como regla general son aceptables intervalos de registro entre 10 minutos y 1 hora, con un cadencia de 1 a 3 horas.

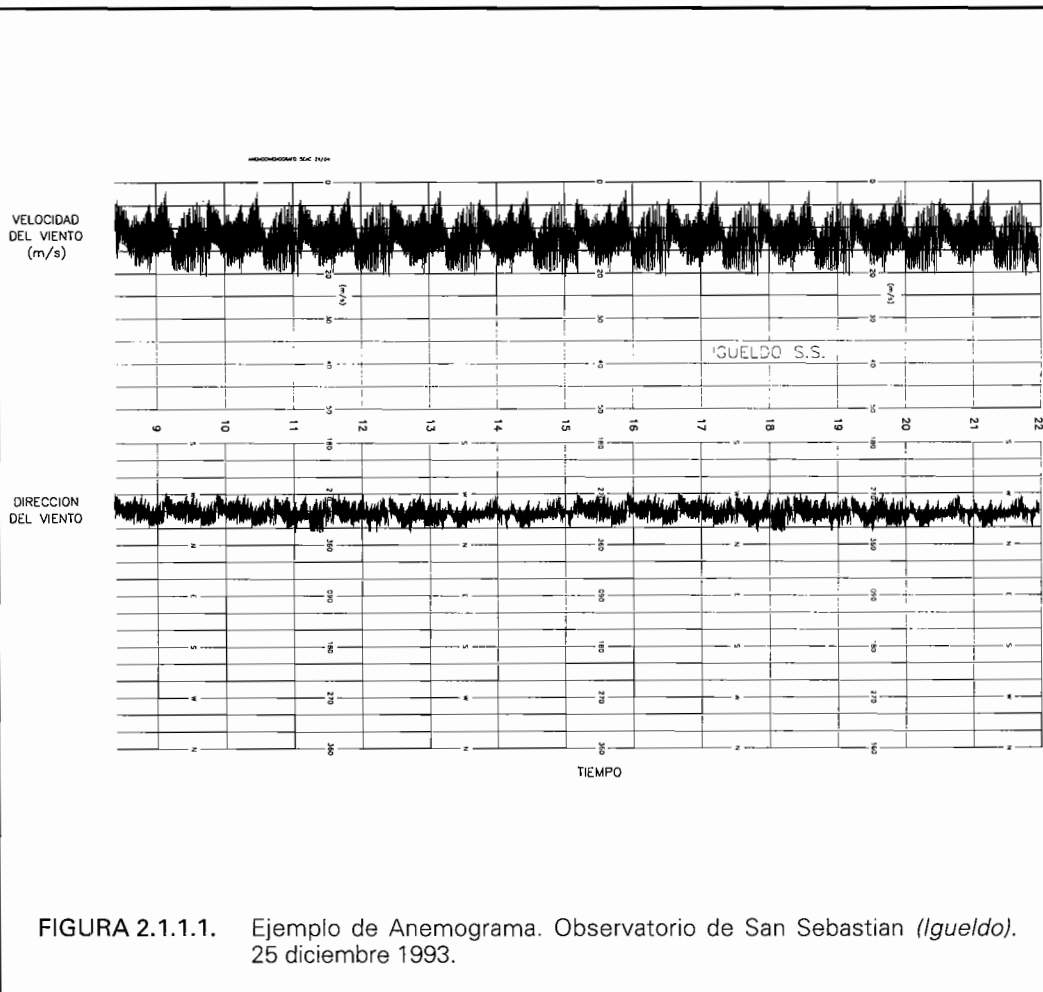
El Estado de Viento en una zona queda completamente definido por la evolución en el tiempo del vector velocidad de viento instantánea en un punto determinado, tomando en consideración la variación del perfil de velocidades del viento con la altura, la rugosidad superficial y las grandes irregularidades topográficas.

La representación gráfica de un registro de las componentes horizontales de las velocidades y direcciones instantáneas en un punto determinado recibe el nombre de anemograma (Ver figura 2.1.1.1).

La descripción de las características de un Estado de Viento puede llevarse a cabo según dos modelos aleatorios simplificados que reproducen, con aproximación suficiente para el ámbito de aplicación de esta Recomendación, la irregularidad del viento y permiten caracterizar probabilísticamente las variaciones del mismo utilizando un número limitado de parámetros representativos:

---

(2) Vientos no locales o de gran escala soplando sobre una superficie plana de gran longitud y rugosidad uniforme.



– MODELO ESTADISTICO: El viento queda caracterizado por los parámetros estadísticos deducidos a partir del registro de la componente horizontal de las velocidades y direcciones instantáneas, fundamentalmente:

- Velocidad media  $[\bar{V}_v]$
- Velocidad máxima  $[V_{v,t}|_{max}]$
- Varianza  $[\sigma_v^2]$
- Dirección media  $[\bar{\alpha}]$

En base a este modelo descriptivo, la velocidad del viento puede considerarse compuesta por una componente media  $[\bar{V}_v]$  y por una componente aleatoria de fluctuación estacionaria, de distribución gaussiana y valor medio cero  $[V_{vf}]$ :

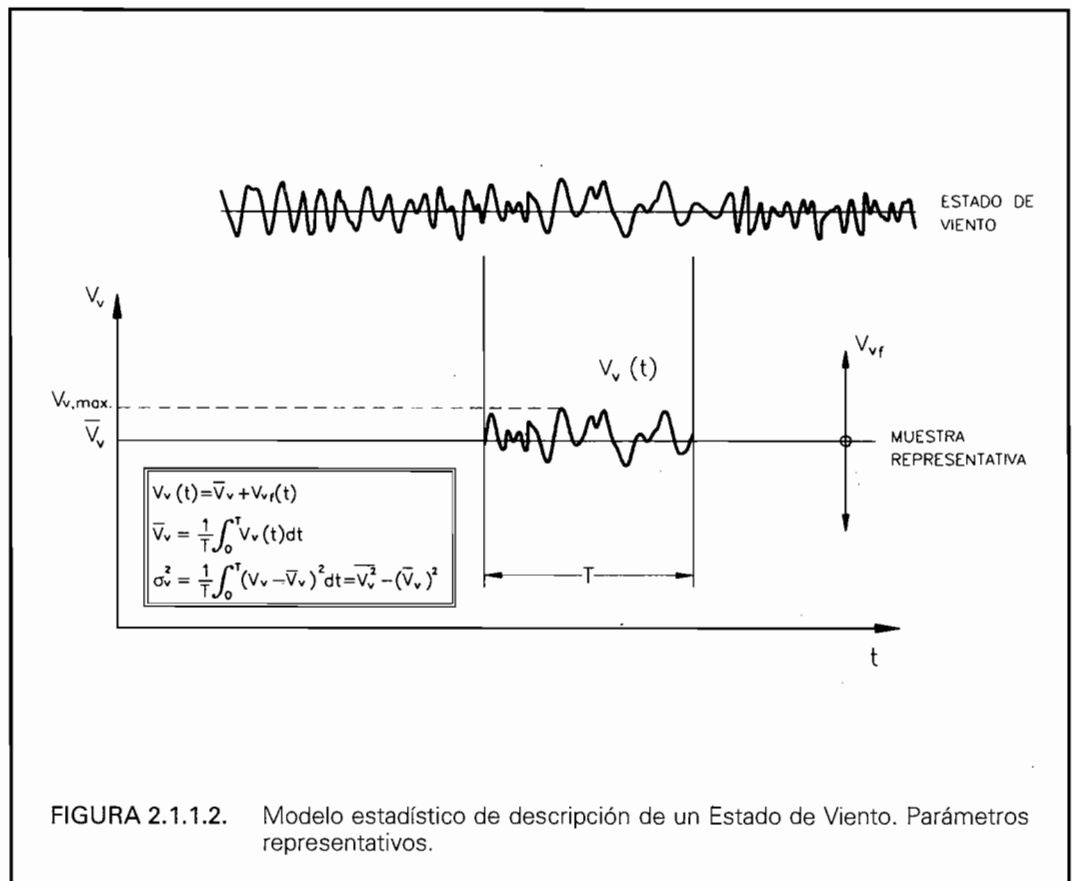
$$V_v(t) = \bar{V}_v + V_{vf}(t) \tag{2.1.1}$$

(Ver figura 2.1.1.2)

– MODELO ESPECTRAL: La componente de fluctuación del viento queda caracterizada por la Función de Densidad Espectral de Potencia o Función Espectral correspondiente a la componente longitudinal de la velocidad de fluctuación  $[S_{vf}(f)]$ . Esta función representa la distribución de energía cinética por unidad de masa y por intervalo de frecuencia que se da en un Estado de Viento en un punto determinado; asociada a dicha componente de fluctuación.

Los dos modelos descriptivos son complementarios para clarificar la naturaleza irregular del viento, y ambos son utilizados para la determinación de la acción del viento sobre las estructuras. En los casos prácticos más usuales, para el cálculo de los efectos del viento





en estructuras o elementos estructurales se utilizará principalmente el modelo estadístico de descripción del viento. Únicamente se utilizará la descripción espectral en aquellos casos en que la respuesta dinámica de la estructura se prevea apreciable o cuando se trate de estructuras complejas en las que la acción del viento constituya la sobrecarga principal (Ver Apartado 3.3. EFECTOS DINÁMICOS).

## 2.1.2. PERFIL DE VELOCIDADES DE UN ESTADO DE VIENTO

La formación, estructura y características del viento en cada punto dependen fundamentalmente del balance entre las fuerzas debidas a la aceleración de las masas de aire por la acción de los gradientes de presión que se producen en la atmósfera, las fuerzas inerciales sobre la misma (*fuerzas de Coriolis y centrífuga*), y los efectos friccionales causados por la rugosidad de la superficie terrestre o marítima y por las diferencias de temperatura entre el aire y la superficie.

En función del resultado de este balance con la altura pueden diferenciarse tres zonas en el perfil vertical de velocidades del viento (Ver figura 2.1.2.1):

- Atmósfera libre o región geostrófica (*por encima de los 200-1000 metros de altura sobre la superficie, en función de la rugosidad superficial:  $z > 200-1000$  m.*)
- Capa límite Planetaria (PBL), formada por dos subcapas:
  - Capa de transición o región de Ekman ( $100 \leq z \leq 200-1000$  m.)
  - Capa límite superficial (SBL) ( $z < 100$  m.)

### 2.1.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO EN LA ATMÓSFERA LIBRE. VIENTO GEOSTRÓFICO Y VIENTO DE GRADIENTE

En la atmósfera libre los efectos del contorno son despreciables frente a las fuerzas del gradiente de presión y a las fuerzas inerciales (*fuerza de Coriolis y fuerza centrífuga*), dando como resultado un flujo de viento esencialmente laminar. El vector velocidad del viento es constante e independiente de la altura.

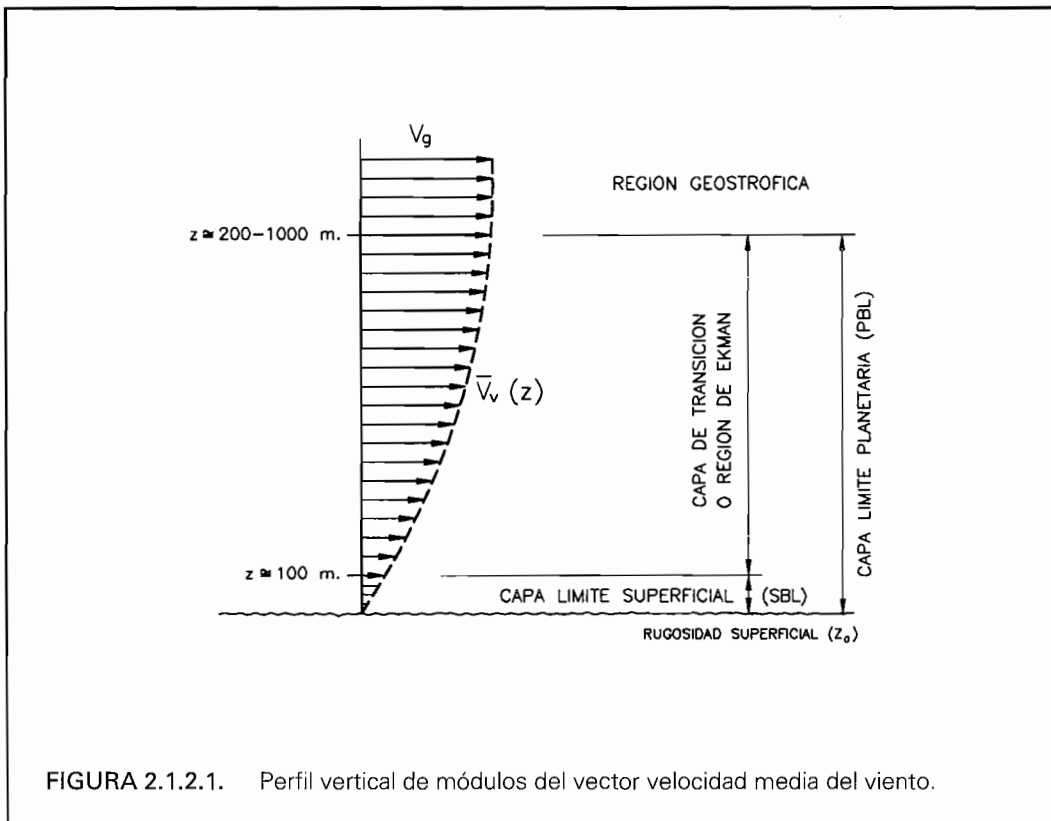


FIGURA 2.1.2.1. Perfil vertical de módulos del vector velocidad media del viento.

Bajo estas condiciones, el flujo de viento es horizontal con dirección constante paralela a las isobaras <sup>3)</sup> dejando, en el hemisferio norte, las bajas presiones a la izquierda del sentido del movimiento. (Ver figuras 2.1.2.1.1 y 2.1.2.1.2). Por el contrario, en el hemisferio sur, las bajas presiones quedan a la derecha del sentido del movimiento. En las regiones ecuatoriales, debido a que la influencia de la fuerza de Coriolis es insignificante en dichas zonas, el flujo de viento se desarrolla directamente desde las altas a las bajas presiones perpendicularmente a las isobaras.

En el caso de que las isobaras sean rectas, al viento que resulta del equilibrio de las fuerzas actuantes, y que por tanto sopla sin aceleración, se le conoce por Viento Geostrofico y la velocidad del viento en esa zona por Velocidad del Viento Geostrofico ( $V_g$ ). Fuera de las zonas ecuatoriales, el valor de esta velocidad en un punto dado Q puede estimarse a partir de la carta meteorológica o mapa isobárico mediante la formulación siguiente obtenida a partir del planteamiento de la ecuación fundamental de la dinámica (2ª Ley de Newton) por unidad de masa (Ver figura 2.1.2.1.1):

$$\begin{aligned} \Sigma F &= m \cdot a \\ P + C &= 0 \\ -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dn} + f \cdot V_g &= 0 \Rightarrow V_g = \frac{1}{\rho \cdot f} \cdot \frac{dp}{dn} \end{aligned} \quad [2.1.2]$$

siendo:

P: Fuerza de gradiente de presión.

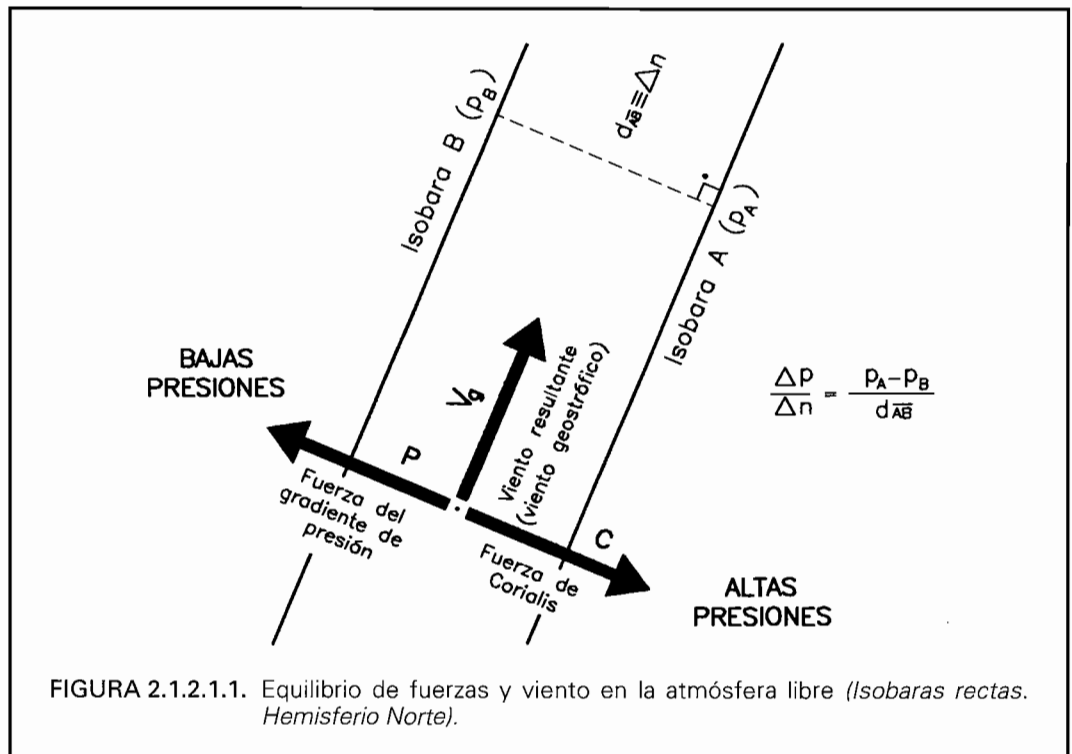
C: Fuerza de Coriolis.

dp/dn: Gradiente horizontal de presiones en el punto Q considerado. Es la máxima pendiente barométrica en dicho punto ( $\Delta p / \Delta n$ ). Se puede determinar a partir de la carta meteorológica de superficie, eligiendo  $\Delta p$  como el intervalo de presión entre las isobaras consecutivas entre las cuales se sitúa Q y  $\Delta n$  la distancia entre dichas isobaras, medida perpendicularmente a las mismas. (Ver figura 2.1.2.1.1).

$\rho$ : Densidad del aire ( $1.23 \text{ kg/m}^3$ ).

(3) Líneas que unen puntos de igual presión atmosférica en una situación temporal determinada.

- f: Parámetro de Coriolis ( $2 \cdot \Omega \cdot \text{sen} \varphi$ ). ( $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
 siendo:  $\Omega$  (Velocidad de rotación de la tierra:  $0.726 \cdot 10^{-4} \text{ rad/s}$ ).  
 $\varphi$  (Latitud). (grados terrestres).
- $V_g$ : Velocidad del viento geostrófico.



En la tabla 2.1.2.1.1. se incluye un ábaco desarrollado a partir de la ecuación [2.1.2] que permite obtener de forma general la velocidad del viento geostrófico en un punto a partir de la carta meteorológica de superficie. Asimismo, la tabla 2.1.2.1.2. proporciona el valor del viento geostrófico simplificado cuando se dispone de cartas meteorológicas en las que se han trazado las isobaras a intervalos de 4 hPa<sup>4)</sup>, en función de la latitud del punto considerado y del espaciamiento entre isobaras, medido bien en grados medios de latitud<sup>5)</sup> o en km, considerando  $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$ .

En el caso de isobaras curvas, el viento que resulta del equilibrio de las fuerzas del gradiente de presión, de Coriolis y centrífuga, y que por tanto sopla con aceleración tangencial nula, es conocido como Viento de Gradiente y la velocidad del viento en esa zona como Velocidad del Viento de Gradiente ( $V_{gr}$ ). (Ver figura 2.1.2.1.2). A partir de idénticas premisas que para el viento geostrófico, el valor de la velocidad del viento de gradiente en un punto dado Q puede estimarse mediante la formulación.

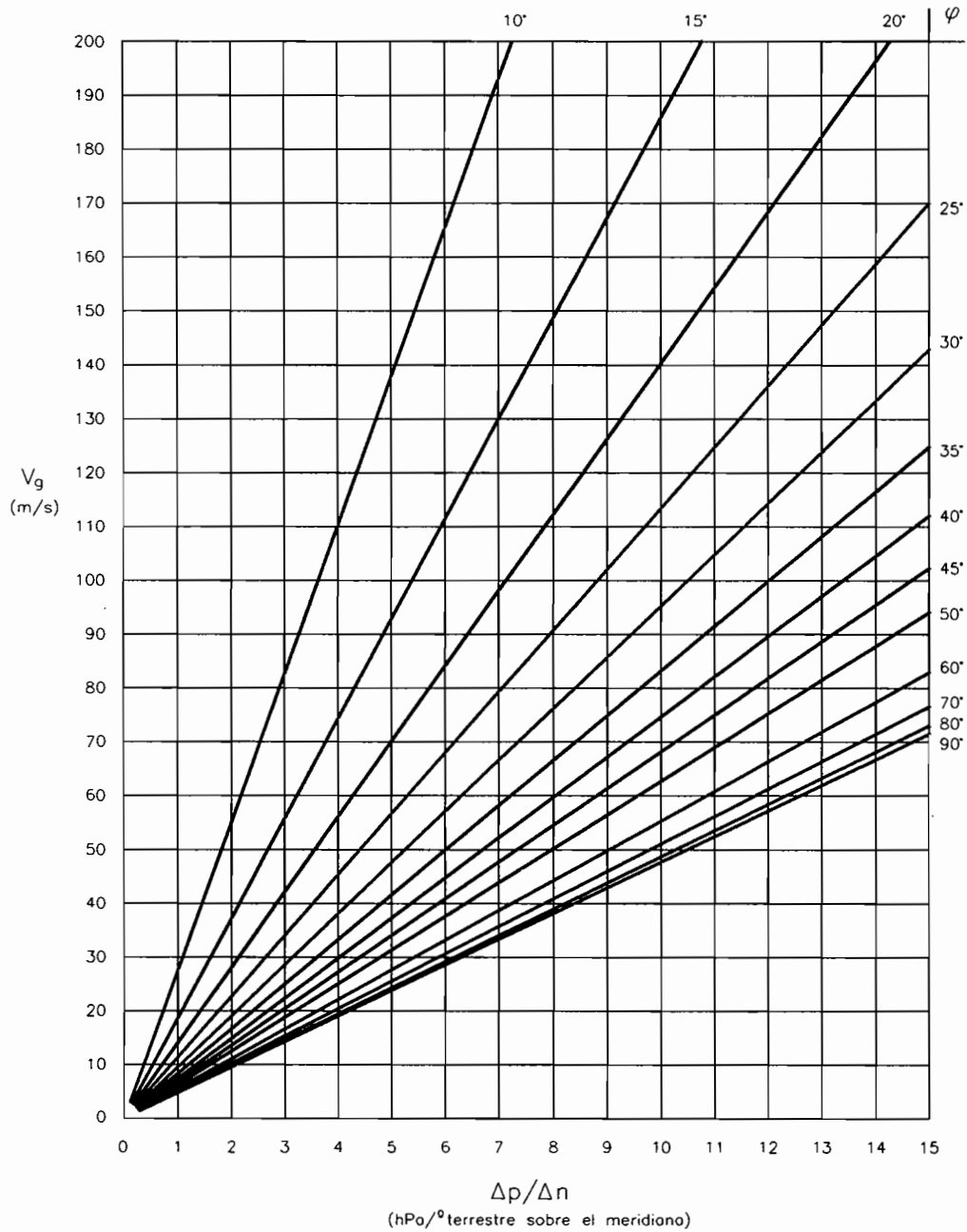
$$P + C \pm F_c = 0$$

$$-\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dn} + f \cdot V_{gr} \pm \frac{V_{gr}^2}{r} = 0 \quad [2.1.3]$$

dependiendo el signo positivo o negativo de la fuerza centrífuga de si la circulación es ciclónica (alrededor de un centro de bajas presiones) o anticiclónica (alrededor de un centro de altas presiones)<sup>6)</sup>, siendo:

- (4) 1hPa = 1 mb (milibar) = 0.75 mm de Hg.
- (5) También denominado grado terrestre sobre el meridiano. La longitud del grado medio de latitud es de aproximadamente 111.137 km según el elipsoide internacional de referencia.
- (6) El signo positivo se corresponde con circulación ciclónica y el signo negativo con circulación anticiclónica.

TABLA 2.1.2.1.1. ABACO PARA LA OBTENCION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO GEOSTROFICO A PARTIR DE LAS CARTAS METEOROLOGICAS DE SUPERFICIE



$r$ : Radio de curvatura de la trayectoria del punto considerado. El radio de curvatura de la trayectoria puede diferir del radio de curvatura de la isobara más próxima. No obstante la diferencia es pequeña y puede despreciarse.

$V_{gr}$ : Velocidad del viento de gradiente. Coincide con la velocidad del viento geostrofico cuando el radio de curvatura es infinito.

Por tanto, para radios de curvatura finitos, se cumple:

- Para circulación ciclónica:

**TABLA 2.1.2.1.2. TABLA PARA LA OBTENCION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO GEOSTROFICO A PARTIR DE CARTAS METEOROLOGICAS CON ISOBARAS A INTERVALOS DE PRESION DE 4 hPa. (VIENTO EN m/s)**

(Densidad del aire: 1 kg/m<sup>3</sup>)

Espaciado de isobaras		Latitud (grados)															
Grados de latitud	km	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
0.6	67	236.9	158.9	120.3	97.3	82.3	71.7	64.0	58.2	53.7	50.2	47.5	45.4	43.8	42.6	41.8	41.3
0.7	78	203.0	136.2	103.1	83.4	70.5	61.5	54.8	49.9	46.0	43.0	40.7	38.9	37.5	36.5	35.8	35.4
0.8	89	177.6	119.2	90.2	73.0	61.7	53.8	48.0	43.6	40.3	37.7	35.6	34.0	32.8	31.9	31.3	31.0
0.9	100	157.9	105.9	80.2	64.9	54.8	47.8	42.7	38.8	35.8	33.5	31.7	30.3	29.2	28.4	27.8	27.5
1.0	111	142.1	95.4	72.2	58.4	49.4	43.0	38.4	34.9	32.2	30.1	28.5	27.2	26.3	25.5	25.1	24.8
1.1	122	129.2	86.7	65.6	53.1	44.9	39.1	34.9	31.7	29.3	27.4	25.9	24.8	23.9	23.2	22.8	22.5
1.2	133	118.4	79.5	60.1	48.7	41.1	35.9	32.0	29.1	26.8	25.1	23.7	22.7	21.9	21.3	20.9	20.6
1.3	144	109.3	73.3	55.5	44.9	38.0	33.1	29.5	26.8	24.8	23.2	21.9	20.9	20.2	19.7	19.3	19.1
1.4	156	101.5	68.1	51.5	41.7	35.3	30.7	27.4	24.9	23.0	21.5	20.4	19.4	18.8	18.2	17.9	17.7
1.5	167	94.7	63.6	48.1	38.9	32.9	28.7	25.6	23.3	21.5	20.1	19.0	18.2	17.5	17.0	16.7	16.5
1.6	178	88.8	59.6	45.1	36.5	30.8	26.9	24.0	21.8	20.1	18.8	17.8	17.0	16.4	16.0	15.7	15.5
1.7	189	83.6	56.1	42.4	34.3	29.0	25.3	22.6	20.5	19.0	17.7	16.8	16.0	15.4	15.0	14.7	14.6
1.8	200	79.0	53.0	40.1	32.4	27.4	23.9	21.3	19.4	17.9	16.7	15.8	15.1	14.6	14.2	13.9	13.8
1.9	211	74.8	50.2	38.0	30.7	26.0	22.6	20.2	18.4	17.0	15.9	15.0	14.3	13.8	13.4	13.2	13.0
2.0	222	71.1	47.7	36.1	29.2	24.7	21.5	19.2	17.5	16.1	15.1	14.2	13.6	13.1	12.8	12.5	12.4
2.1	233	67.7	45.4	34.4	27.8	23.5	20.5	18.3	16.6	15.3	14.3	13.6	13.0	12.5	12.2	11.9	11.8
2.2	245	64.6	43.3	32.8	26.5	22.4	19.6	17.5	15.9	14.6	13.7	13.0	12.4	11.9	11.6	11.4	11.3
2.3	256	61.8	41.5	31.4	25.4	21.5	18.7	16.7	15.2	14.0	13.1	12.4	11.8	11.4	11.1	10.9	10.8
2.4	267	59.2	39.7	30.1	24.3	20.6	17.9	16.0	14.5	13.4	12.6	11.9	11.3	10.9	10.6	10.4	10.3
2.5	278	56.8	38.1	28.9	23.4	19.7	17.2	15.4	14.0	12.9	12.1	11.4	10.9	10.5	10.2	10.0	9.9
2.6	289	54.7	36.7	27.8	22.5	19.0	16.5	14.8	13.4	12.4	11.6	11.0	10.5	10.1	9.8	9.6	9.5
2.7	300	52.6	35.3	26.7	21.6	18.3	15.9	14.2	12.9	11.9	11.2	10.6	10.1	9.7	9.5	9.3	9.2
2.8	311	50.8	34.1	25.8	20.9	17.6	15.4	13.7	12.5	11.5	10.8	10.2	9.7	9.4	9.1	8.9	8.8
2.9	322	49.0	32.9	24.9	20.1	17.0	14.8	13.2	12.0	11.1	10.4	9.8	9.4	9.1	8.8	8.6	8.5
3.0	333	47.4	31.8	24.1	19.5	16.5	14.3	12.8	11.6	10.7	10.0	9.5	9.1	8.8	8.5	8.4	8.3
3.5	389	40.6	27.2	20.6	16.7	14.1	12.3	11.0	10.0	9.2	8.6	8.1	7.8	7.5	7.3	7.2	7.1
4.0	445	35.5	23.8	18.0	14.6	12.3	10.8	9.6	8.7	8.1	7.5	7.1	6.8	6.6	6.4	6.3	6.2
4.5	500	31.6	21.2	16.0	13.0	11.0	9.6	8.5	7.8	7.2	6.7	6.3	6.1	5.8	5.7	5.6	5.5
5.0	556	28.4	19.1	14.4	11.7	9.9	8.6	7.7	7.0	6.4	6.0	5.7	5.4	5.3	5.1	5.0	5.0
6.0	667	23.7	15.9	12.0	9.7	8.2	7.2	6.4	5.8	5.4	5.0	4.7	4.5	4.4	4.3	4.2	4.1
7.0	778	20.3	13.6	10.3	8.3	7.1	6.1	5.5	5.0	4.6	4.3	4.1	3.9	3.8	3.6	3.6	3.5
8.0	889	17.8	11.9	9.0	7.3	6.2	5.4	4.8	4.4	4.0	3.8	3.6	3.4	3.3	3.2	3.1	3.1
9.0	1000	15.8	10.6	8.0	6.5	5.5	4.8	4.3	3.9	3.6	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.8	2.8
10.0	1111	14.2	9.5	7.2	5.8	4.9	4.3	3.8	3.5	3.2	3.0	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5

$$V_{gr} = -\frac{r \cdot f}{2} + \sqrt{\left(\frac{r \cdot f}{2}\right)^2 + \frac{r}{\rho} \cdot \frac{dp}{dn}} = \frac{r \cdot f}{2} \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot V_g}{r \cdot f}} \right) \quad [2.1.4]$$

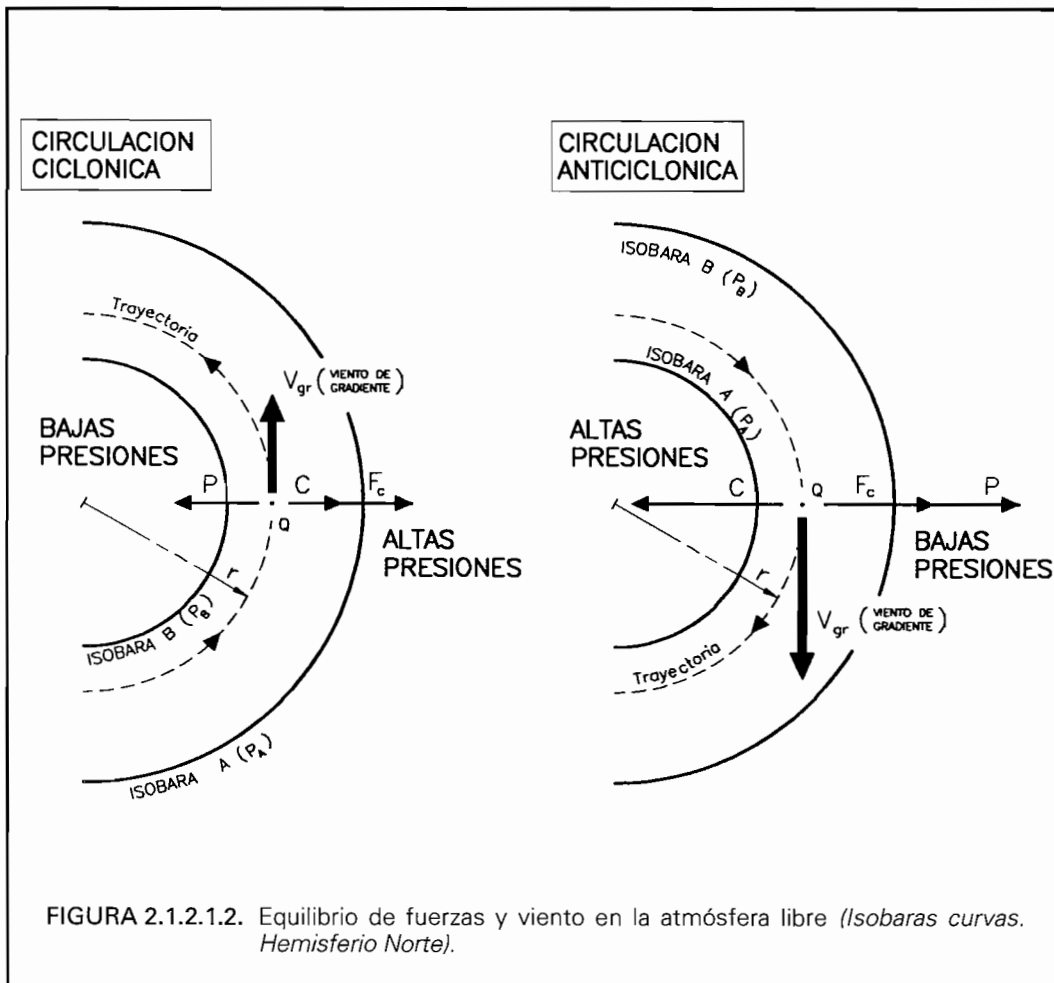
- Para circulación anticiclónica:

$$V_{gr} = +\frac{r \cdot f}{2} - \sqrt{\left(\frac{r \cdot f}{2}\right)^2 - \frac{r}{\rho} \cdot \frac{dp}{dn}} = \frac{r \cdot f}{2} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot V_g}{r \cdot f}} \right) \quad [2.1.5]$$

Puede observarse que, a igualdad de valores de r, f y dp/dn los vientos anticiclónicos son más suaves que los vientos ciclónicos. También puede observarse que en las borrascas la velocidad del viento de gradiente no está limitada. Por el contrario, en los anticiclones la velocidad del viento de gradiente no puede superar el valor máximo  $r \cdot f / 2 = 2 \cdot V_g$  para un valor crítico de  $r \cdot f = 4 \cdot V_g$ , al no tener sentido físico que la raíz cuadrada en la fórmula [2.1.5] tome un valor negativo.

Las tablas 2.1.2.1.3. y 2.1.2.1.4., correspondientes a curvatura ciclónica y anticiclónica respectivamente, han sido desarrolladas por aplicación directa de las fórmulas [2.1.4] y [2.1.5]. Permiten obtener fácilmente la velocidad del viento de gradiente ( $V_{gr}$ ) en un punto a partir de la carta meteorológica de superficie, en función del parámetro r·f y de la velocidad del viento geostrofico ( $V_g$ ) obtenida a partir de las tablas 2.1.2.1.1. o 2.1.2.1.2. como si el sistema ciclónico o anticiclónico no tuviese curvatura.

Las estimaciones de las velocidades del viento geostrofico o de gradiente obtenidas por el método descrito podrán considerarse suficientemente válidas únicamente para las



grandes perturbaciones atmosféricas. Para perturbaciones de escasa entidad este método puede dar lugar a errores muy importantes.

Dado que puede admitirse que una carta meteorológica de superficie tiene una validez aproximada de tres o cuatro horas, las velocidades geostróficas o de gradiente obtenidas a partir de ellas podrán considerarse representativas de un Estado de Viento.

#### 2.1.2.2. CARACTERISTICAS DEL VIENTO EN LAS CAPAS BAJAS DE LA ATMOSFERA. VIENTO EN LA CAPA LIMITE PLANETARIA

En las capas próximas al suelo el equilibrio resultante en la atmósfera libre entre las fuerzas del gradiente de presiones y las fuerzas inerciales se ve modificado por la influencia de las fuerzas de arrastre inducidas por la superficie terrestre y por las diferencias de temperatura entre el aire y la superficie terrestre, dando como resultado flujo de viento turbulento. Para vientos fuertes las fuerzas de arrastre de origen mecánico son preponderantes a las de origen térmico, pudiendo despreciarse en estos casos el efecto causado por las mismas.

En estas condiciones, en la capa límite planetaria el vector velocidad media de viento es horizontal, produciéndose una reducción del módulo y un cambio de dirección al disminuir la altura, dejando de ser el flujo paralelo a las isobaras. Esto es debido al balance que se produce en cada punto entre las fuerzas actuantes, al aumentar las fuerzas de arrastre y reducirse las fuerzas inerciales al disminuir la altura, y mantenerse prácticamente constante la fuerza del gradiente de presión.

En el caso de flujo de viento geostrófico (*isobaras sustancialmente rectas*), el ángulo de desviación entre la dirección del viento y las isobaras variará con la altura desde un valor cero en el contacto con la región geostrófica hasta alcanzar un valor máximo  $\alpha_0$  en la capa límite superficial. En dicha capa puede admitirse que la dirección del viento

**TABLA 2.1.2.1.3. TABLA PARA LA OBTENCION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DE GRADIENTE ( $V_{gr}$ ) A PARTIR DE LAS CARTAS METEOROLOGICAS DE SUPERFICIE. CIRCULACION CICLONICA**

Viento geostrófico $V_g$	Parámetro $rf$																											
	4	6	8	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	200	300	400	500	600	700	800			
5	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
10	5	5	6	6	7	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9		
15	6	7	8	8	10	11	12	12	12	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14	15	15	15	15		
20	7	8	9	10	12	14	15	15	16	16	17	17	17	17	17	18	18	18	18	19	19	19	19	19	19	20		
25	8	10	11	12	14	16	17	18	19	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	23	24	24	24	24	24	24		
30	9	11	12	13	16	19	20	21	22	23	23	24	24	25	25	25	25	25	26	26	27	28	28	29	29	29		
35	10	12	13	14	18	21	22	24	25	26	26	27	27	28	28	29	29	29	30	30	32	32	33	33	33	34		
40	11	13	14	16	20	23	25	26	27	28	29	30	31	31	32	32	33	34	36	37	37	38	38	38	38	38		
45	12	14	15	17	22	25	27	29	30	31	32	33	34	34	35	35	36	36	38	40	41	42	42	42	43	43		
50	12	15	16	18	23	27	29	31	32	34	35	36	37	37	38	39	39	40	41	44	45	46	46	47	47	47		
55	13	15	17	19	25	28	31	33	35	36	37	39	39	40	41	42	42	43	45	47	49	50	51	51	52	52		
60	14	16	18	20	26	30	33	35	37	39	40	41	42	43	44	45	45	46	48	51	53	54	55	56	56	56		
65	14	17	19	21	27	32	35	37	39	41	42	44	45	46	47	48	48	49	52	55	57	58	59	60	60	60		
70	15	18	20	22	29	33	37	39	41	43	45	46	47	49	50	50	51	52	55	59	61	62	63	64	65	65		
75	15	18	21	23	30	35	38	41	43	45	47	49	50	51	52	53	54	55	58	62	65	66	67	68	69	69		
80	16	19	22	24	31	36	40	43	45	48	49	51	52	54	55	56	57	58	61	66	68	70	71	72	73	73		
85	17	20	22	25	32	38	42	45	47	50	52	53	55	56	57	59	60	61	64	69	72	74	75	77	77	77		
90	17	20	23	25	34	39	43	47	49	52	54	56	57	59	60	61	62	63	67	72	76	78	79	81	82	82		
95	18	21	24	26	35	40	45	48	51	54	56	58	60	61	62	64	65	66	70	76	79	82	83	85	86	86		
100	18	22	25	27	36	42	46	50	53	56	58	60	62	63	65	66	67	69	73	79	83	85	87	89	90	90		
110	19	23	26	29	38	44	49	53	57	59	62	64	66	68	70	71	72	74	79	86	90	93	95	97	98	98		
120	20	24	27	30	40	47	52	56	60	63	66	68	70	72	74	76	77	79	84	92	97	100	102	104	106	106		
130	21	25	28	31	42	49	55	59	63	67	70	72	74	77	79	80	82	84	90	98	103	107	110	112	114	114		
140	22	26	30	33	44	52	57	62	66	70	73	76	78	81	83	85	87	88	95	104	110	114	117	120	122	122		
150	23	27	31	34	46	54	60	65	69	73	77	80	82	85	87	89	91	93	100	110	116	121	124	127	129	129		
160	23	28	32	35	47	56	62	68	72	76	80	83	86	89	91	93	95	97	105	116	122	127	131	134	137	137		
170	24	29	33	37	49	58	65	71	75	80	83	87	90	92	95	97	99	101	110	121	129	134	138	141	144	144		
180	25	30	34	38	51	60	67	73	78	83	86	90	93	96	99	101	103	106	114	127	135	141	145	148	151	151		
190	26	31	35	39	52	62	69	76	81	86	90	93	97	100	102	105	107	110	119	132	141	147	152	155	159	159		
200	26	32	36	40	54	64	72	78	84	88	93	97	100	103	106	109	111	114	124	137	146	153	158	162	166	166		
250	30	36	41	45	61	73	82	90	96	102	107	112	116	120	123	127	130	133	145	162	174	183	190	195	200	200		
300	33	40	45	50	68	81	91	100	107	114	120	125	130	135	139	143	147	150	165	185	200	211	220	227	232	232		

NOTAS: Tomando  $V_g$ ,  $rf$  y  $V_{gr}$  en las mismas unidades.

es constante con la altura. En el Hemisferio Norte el cambio de dirección es en sentido antihorario, pudiendo representarse la variación del vector velocidad media del viento con la altura por medio de la denominada Espiral de Ekman. (Ver figura 2.1.2.2.1).

En el caso de isobaras curvas, el equilibrio de las fuerzas actuantes dará lugar a que la dirección del viento resultante tienda a cruzar las isobaras hacia el centro de bajas presiones en circulación ciclónica o, por el contrario, hacia el exterior del centro de altas presiones en circulación anticiclónica.

La completa definición de las características del viento en la Capa Límite Planetaria y particularmente en la Capa Límite Superficial es de una gran importancia debido a que es la que incide directamente en el ámbito de aplicación de esta Recomendación.

### 2.1.2.2.1. DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA DEL VIENTO

Para un punto y un Estado de Viento dado, la velocidad del viento en las capas límites puede considerarse compuesta por una componente media constante [ $V_v$ ] y por una componente aleatoria de fluctuación en la dirección del flujo estacionaria, de distribución gaussiana y valor medio cero [ $V_{vf}$ ]<sup>7)</sup>, que describe las características de turbulencia longitudinal del flujo de viento (Ver figura 2.1.1.2):

$$V_v(t) = \bar{V}_v + V_{vf}(t) \quad [2.1.6]$$

Mediante esta descripción la velocidad de fluctuación del viento [ $V_{vf}(t)$ ] puede considerarse formada por la superposición de un número infinito de ondas componentes monocromáticas de fluctuación alrededor de la velocidad media, de amplitud y frecuencia diferenciada.

(7)  $\rho(V_{vf}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{vf}} \cdot e^{-\frac{V_{vf}^2}{2\sigma_{vf}^2}}$ , siendo  $\sigma_{vf}$  la desviación típica de  $V_{vf}$ .

TABLA 2.1.2.1.4. TABLA PARA LA OBTENCION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DE GRADIENTE ( $V_{gr}$ ) A PARTIR DE LAS CARTAS METEOROLOGICAS DE SUPERFICIE. CIRCULACION ANTICICLONICA

Viento geostrófico $V_g$	Parámetro $rf$																								
	4	6	8	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	200	300	400	500	600	700	800
5					10	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10							20	14	13	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10	10
15									30	22	20	19	18	18	18	17	17	17	16	16	16	15	15	15	15
20											40	30	28	26	25	25	24	24	23	22	21	21	21	21	21
25												50	38	36	34	33	32	29	28	27	26	26	26	26	
30															60	47	44	41	37	34	33	32	31	31	
35																70	56	45	40	39	38	37	37	37	
40																		55	48	45	44	43	43	42	
45																		68	55	52	50	49	48	48	
50																		100	63	59	56	55	54	54	
55																			73	66	63	61	60	59	
60																			83	74	70	68	66	65	
65																			95	82	77	74	73	71	
70																			111	90	84	81	79	78	
75																			150	100	92	88	85	84	
80																				111	100	95	92	90	
85																				123	109	103	99	97	
90																				137	118	110	106	103	
95																				155	128	118	113	110	
100																				200	138	127	121	117	
110																					163	145	137	132	
120																					200	166	154	147	
130																						190	173	163	
140																						223	193	181	
150																						300	218	200	
160																							248	221	
170																							291	245	
180																								274	
190																								311	
200																								400	

NOTAS: Tomando  $V_g$ ,  $rf$  y  $V_{gr}$  en las mismas unidades.

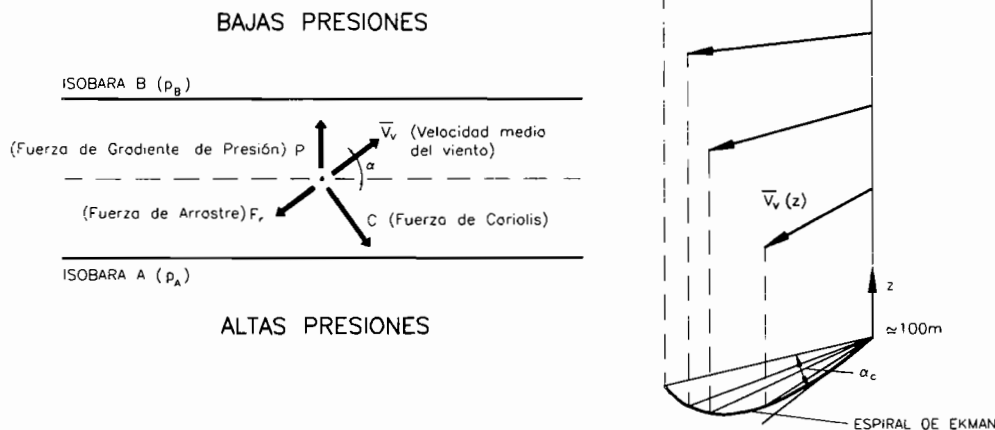


FIGURA 2.1.2.2.1. Viento en la Capa Límite Planetaria (Isobaras rectas, Hemisferio Norte). Espiral de Ekman.



Es decir,  $V_{vf}$  puede expresarse matemáticamente en el dominio del tiempo aplicando el análisis de Fourier de ondas compuestas al registro de las velocidades de fluctuación:

$$V_{vf}(t) = \int_0^{\infty} C(f) \cdot \cos [2\pi ft - \theta(f)] \cdot df \quad [2.1.7]$$

En base a este modelo descriptivo, un Estado de Viento quedará caracterizado por los siguientes parámetros estadísticos representativos del vector velocidad de viento en un punto, teniendo en cuenta la variación del perfil de velocidades en función de la altura, la rugosidad superficial y las irregularidades topográficas:

– Velocidad Media: 
$$\bar{V}_v = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T V_v(t) \cdot dt \quad [2.1.8]$$

– Dirección media:  $[\bar{\alpha}]$

– Varianza de la velocidad de fluctuación: 
$$\sigma_{vf}^2 = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T (V_{vf})^2 \cdot dt = \overline{V_{vf}^2} \quad [2.1.9]$$

≡ Valor medio cuadrático de la velocidad de fluctuación.

– Velocidad Máxima Probable <sup>8)</sup>:  $V_{vt}|_{\max}$

siendo T el tiempo de registro representativo adoptado.

#### a. VARIACION DE LA VELOCIDAD MEDIA CON LA ALTURA Y LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL

En la capa límite superficial, para vientos fuertes <sup>9)</sup> y superficie del terreno horizontalmente homogénea, el perfil vertical de velocidades medias del viento puede ser representado simplifadamente por el siguiente perfil logarítmico:

$$\bar{V}_v(z) = \frac{V_{v0}^*}{k} \cdot \ln \frac{z}{z_0} \quad [2.1.10]$$

siendo:

k : Constante adimensional de Von Karman con un valor numérico aproximado de 0.4.

$z_0$ : Altura de rugosidad superficial en el área considerada. Este parámetro es una función empírica de la naturaleza, altura y distribución de la rugosidad superficial. Podrán adoptarse, en función del tipo de superficie considerada, los valores de  $z_0$  incluidos en la tabla 2.1.2.2.1.

z: Altura efectiva sobre la superficie. El nivel cero efectivo se considerará aproximadamente coincidente con el nivel medio para el cual el volumen de obstáculos por encima del mismo es igual al volumen de huecos por debajo del mismo. La altura del nivel cero efectivo sobre la superficie puede estimarse mediante la expresión:

$$\bar{H} - \frac{z_0}{k} = \bar{H} - 2.5 \cdot z_0 \quad [2.1.11]$$

siendo  $\bar{H}$  ( $>25z_0$ ), la altura general de los obstáculos existentes (*edificios, árboles,...*). En mar abierto y zonas costeras llanas sin obstáculos se considerará como nivel cero efectivo el nivel medio del mar.

$V_{v0}^*$ : Velocidad de fricción. Se define mediante la relación:

$$\tau_0 = \rho \cdot (V_{v0}^*)^2 \Rightarrow V_{v0}^* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad [2.1.12]$$

(8) A la Velocidad Máxima Probable también se le denomina Velocidad de Ráfaga Máxima.

(9) A estos efectos se considerarán vientos fuertes aquellos con  $\bar{V}_v(10) \geq 15$  m/s. En estos casos puede desprejarse la influencia de las inestabilidades térmicas de la atmósfera en la velocidad del viento.

donde:

- $\rho$  es la densidad del aire.
- $\tau_0$  es la fuerza de arrastre superficial por unidad de superficie. La magnitud de esta fuerza puede expresarse tanto en función de la velocidad del viento de gradiente ( $V_{gr}$ ) como de la velocidad media del viento a una altura de referencia de 10 m ( $\bar{V}_v(10)$ ) por medio de la formulación siguiente:

$$\tau_0 = \rho \cdot C_g \cdot V_{gr}^2 \Rightarrow C_g = \left[ \frac{V_{v0}^*}{V_{gr}} \right]^2 \quad [2.1.13]$$

$$\tau_0 = \rho \cdot C_D \cdot [\bar{V}_v(10)]^2 \Rightarrow C_D = \left[ \frac{V_{v0}^*}{\bar{V}_v(10)} \right]^2 \quad [2.1.14]$$

siendo:

$C_g$  (Coeficiente geostrófico de arrastre).

Una determinación práctica de dicho coeficiente puede obtenerse a partir de la formulación siguiente:

$$C_g \approx 0.0256 \left( \frac{V_{gr}}{f \cdot z_0} \right)^{-0.18} \quad [2.1.15]$$

Como puede observarse a partir de [2.1.15],  $C_g$  está regido principalmente por  $z_0$ , por lo que en la práctica los valores de dicho coeficiente pueden obtenerse simplificada-mente en la tabla 2.1.2.2.1 para los diversos tipos genéricos de rugosidad superficial.

$C_D$  (Coeficiente de arrastre superficial).

Se define como:

$$C_D = \left[ \frac{k}{\ln \frac{10}{z_0}} \right]^2, \quad z_0 \text{ expresado en metros.} \quad [2.1.16]$$

Los valores de  $C_D$  en función de los diversos tipos de rugosidad superficial pueden tomarse de la tabla 2.1.2.2.1.

Considerando las expresiones [2.1.13] y [2.1.14], el perfil logarítmico de velocidades medias del viento puede expresarse en función tanto de la velocidad del viento de gradiente como de la velocidad media a una altura de referencia de 10 metros. Es decir:

$$\bar{V}_v(z) = \frac{\sqrt{C_g}}{k} \cdot V_{gr} \cdot \ln \frac{z}{z_0} \quad [2.1.17]$$

$$\bar{V}_v(z) = \frac{\sqrt{C_D}}{k} \cdot \bar{V}_v(10) \cdot \ln \frac{z}{z_0} \quad [2.1.18]$$

A partir de la formulación anterior se ha desarrollado la gráfica de la figura 2.1.2.2.2. que permite simplificada-mente la estimación de la velocidad media del viento a 10 m de altura en mar abierto, en función de la velocidad del viento de gradiente, teniendo en cuenta la variación de la altura de rugosidad superficial del mar (oleaje) con la velocidad del viento <sup>(10)</sup>.

En la capa de transición o región de Ekman no es admisible utilizar el perfil vertical de velocidades medias del viento representado por el perfil logarítmico. En estos casos puede utilizarse un perfil empírico de la forma:

$$\bar{V}_v(z) = V_{gr} \left[ \frac{z}{z_g} \right]^\beta \quad [2.1.19]$$

siendo  $z_g$  la altura para la cual se puede admitir que la velocidad media es aproximada-mente coincidente con la velocidad del viento de gradiente y  $\beta$  una constante adimensio-nal.  $z_g$  y  $\beta$  son función de la altura de rugosidad superficial ( $z_0$ ). Los valores más característicos de estos parámetros se incluyen en la tabla 2.1.2.2.1.

(10) Normalmente la gráfica de la figura 2.1.2.2.2. suele utilizarse para la obtención del viento su-perficial sobre el mar a partir de cartas meteorológicas de superficie, generalmente para su aplicación en modelos simplificados de predicción de oleaje.

TABLA 2.1.2.2.1. VALORES APROXIMADOS DE  $z_0$ ,  $z_g$ ,  $C_g$ ,  $C_D$  y  $\beta$  EN FUNCION DEL TIPO GENERICO DE SUPERFICIE

TIPO DE SUPERFICIE	$z_0$ (m)	$z_g$ (m)	$10^3 \cdot C_g$	$10^3 \cdot C_D$	$\beta$
I. Mar abierto y campo abierto llano sin obstáculos (p.e. zonas costeras llanas, desiertos,...).	0.001-0.01	200	0.7-1.2	1.9-3.4	0.12
II. Mar con oleaje muy fuerte y campo abierto, llano u ondulado, con obstáculos dispersos (p.e. praderas, páramos, ...).	0.01-0.3	300	1.2-2.2	3.4-13	0.16
III. Superficies boscosas, campo con obstáculos abundantes y pequeñas zonas urbanas (obstáculos con alturas entre 9 y 15 m).	0.3-1.0	400	2.2-2.8	13-30	0.28
IV. Superficies con grandes y frecuentes obstáculos, y grandes ciudades.	1.0-5.0	500	2.8-3.5	30-300	0.40

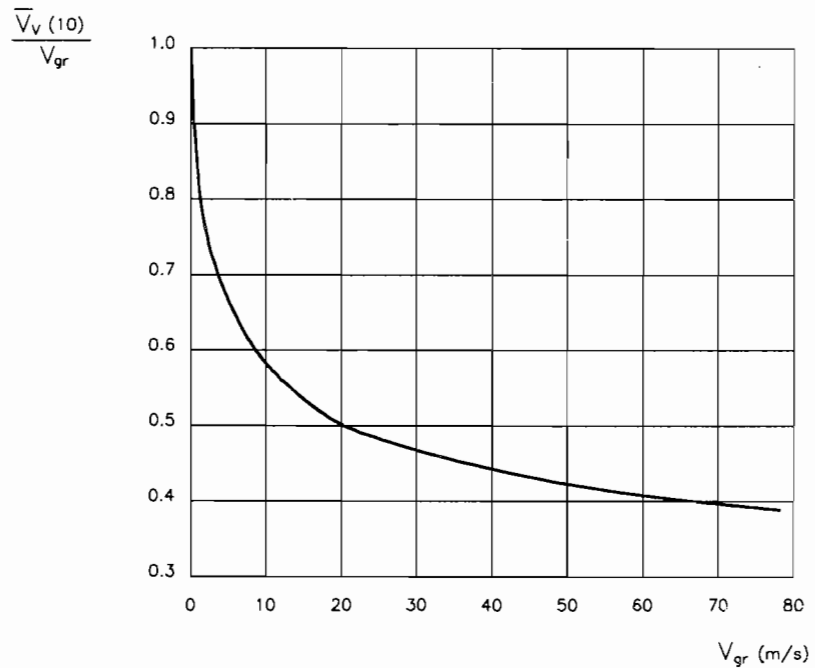


FIGURA 2.1.2.2.2. Velocidad media del viento a 10 m de altura en mar abierto, en función de la velocidad del viento de gradiente. (Según Resio y Vicent, 1977).

b. VARIACION DE LA DIRECCION MEDIA DEL VIENTO CON LA ALTURA Y LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL

Para un Estado de Viento dado, puede considerarse que la dirección media del viento en la capa límite superficial se mantiene constante con la altura, sufriendo un cambio de dirección ( $\alpha_0$ ) respecto a la dirección del viento de gradiente (Ver figura 2.1.2.2.1). Este cambio de dirección puede estimarse mediante la siguiente expresión (Deaves y Harris, 1978):

$$\text{sen } \alpha_0 = 12\sqrt{C_g} \quad [2.1.20]$$

El sentido del cambio de dirección es función del hemisferio en que se encuentra la zona considerada. En el Hemisferio Norte el cambio de dirección es en sentido antihorario.

En la capa de transición o de Ekman podrá admitirse una variación lineal del ángulo con la altura:

$$\alpha_z = \alpha_0 \left[ \frac{z_g - z}{z_g - 100} \right], \quad z \text{ y } z_g \text{ expresado en m.} \quad [2.1.21]$$

c. VELOCIDAD MAXIMA PROBABLE

A efectos de proyecto no siempre es relevante conocer únicamente la velocidad media del viento sino que deberá conocerse la velocidad máxima, o velocidad de ráfaga máxima, capaz de afectar a la estructura o elemento estructural considerado dando empujes o fuerzas de arrastre efectivos sobre la totalidad de la misma.

Sin tener en cuenta la posibilidad de efectos dinámicos inducidos, una ráfaga de viento dará empujes o fuerzas de arrastre efectivos cuasiestáticos si tiene una longitud o duración determinada función del tamaño y características del elemento o tipo estructural sobre el que actúa. Por esta causa se definen velocidades de ráfaga asociadas a duraciones entre 3 s y 10 minutos.

Se define como velocidad de ráfaga asociada a una duración  $t$  [ $V_{v,t}(z)$ ] en un punto determinado al valor medio de la velocidad instantánea del viento en dicho punto en un intervalo de medición  $t$ . Como en la práctica las características físicas de las medidas, así como la sensibilidad y capacidad de respuesta de los aparatos de medida, impide la obtención de la velocidad instantánea del viento, se considerará velocidad instantánea a la velocidad media del viento en el menor intervalo de muestreo compatible con la posibilidad de medición. En la actualidad, dadas las características de los aparatos estándar de medida, y en ausencia de información más precisa, puede considerarse la velocidad instantánea como la velocidad media asociada al intervalo de 3 segundos ( $V_{v,3s}$ ), sin perjuicio de otros intervalos menores o mayores de medida.

Ya que por definición de Estado de Viento (Ver apartado 2.1.1) la velocidad media del viento tiende a permanecer constante en periodos de tiempo entre 10 minutos y 1 hora, a efectos prácticos puede considerarse que la velocidad media del viento coincide con la media en el intervalo de 10 minutos. Es decir:

$$\bar{V}_v(z) = V_{v,10min}(z) \quad [2.1.22]$$

Para un Estado de Viento y un punto dados, la velocidad máxima probable o velocidad de ráfaga máxima dependerá del intervalo de medición considerado, de tal forma que al crecer el intervalo de medición aumentará el valor de la velocidad máxima probable.

En general para cualquier intervalo de medición, para vientos fuertes y superficie del terreno horizontalmente homogénea la velocidad máxima de un Estado de Viento podrá obtenerse por medio de la siguiente expresión:

$$V_{v,t|max}(z) = \bar{V}_v(z) + g(t) \cdot \sigma_{vf} \quad [2.1.23]$$

siendo:

$g(t)$ : Factor de Pico. Es un factor dependiente de la duración o intervalo de medición  $t$  considerado. Para los intervalos más usuales podrán adoptarse los valores siguientes:

t	3 s	5 s	15 s	1 min	5 min	10 min
g(t)	3.43	3.28	2.93	2.41	1.66	0

$\sigma_{vf}$ : Desviación estándar de la velocidad de fluctuación. Puede admitirse que en la capa límite superficial su valor es independiente de la altura. Del análisis de diversos registros puede deducirse que su valor es constante y función de la altura de rugosidad superficial  $z_0$  y de la velocidad media del viento a una altura de referencia. Para un emplazamiento dado, la desviación estándar de la velocidad de fluctuación puede aproximarse por la expresión:

$$\sigma_{vf} \approx \sqrt{6} \cdot V_{v0}^* = \frac{0.98}{\ln(10/z_0)} \cdot \bar{V}_v(10) \quad , \quad z_0 \text{ en m.} \quad [2.1.24]$$

Por lo que puede deducirse que la componente de fluctuación asociada a la ráfaga máxima es prácticamente constante con la altura.

Para un Estado de Viento y un emplazamiento dado, se define como Factor de Ráfaga Máxima correspondiente a una duración  $t$  y a una altura  $z$  [ $F_{R,t}(z)$ ] al cociente entre la velocidad máxima asociada a un intervalo de medición  $t$  y la velocidad media del viento a dicha altura. Es decir:

$$F_{R,t}(z) = \frac{V_{v,t(max)(z)}}{V_v(z)} = 1 + g(t) \cdot \frac{\sigma_{vf}(z)}{V_v(z)} = 1 + g(t) \cdot I(z) \quad [2.1.25]$$

siendo :

$I(z)$ : Intensidad de la turbulencia. Es función de la rugosidad superficial y de la altura  $z$ , pero independiente de la velocidad media del viento. Para un emplazamiento dado, la variación de la intensidad de la turbulencia con la altura puede aproximarse por la expresión:

$$I(z) = \frac{0.98}{\ln(z/z_0)} \quad [2.1.26]$$

Como puede observarse los Factores de Ráfaga Máxima no dependen de la velocidad media del viento, siendo función creciente de la rugosidad superficial y decreciente de la altura.

Por tanto en el principal campo de aplicación de esta Recomendación [*mar abierto o zonas costeras y campo abierto plano sin obstáculos ( $z_0=0.005$ )*], a una altura de 10 m sobre la superficie, a efectos prácticos podrán adoptarse los siguientes Factores de Ráfaga Máxima:

- $F_{R,3s}(10) = 1.44$
- $F_{R,5s}(10) = 1.42$
- $F_{R,15s}(10) = 1.38$
- $F_{R,1min}(10) = 1.31$
- $F_{R,5min}(10) = 1.21$
- $F_{R,10min}(10) = 1$

#### 2.1.2.2.2. DESCRIPCION ESPECTRAL DEL VIENTO

En aquellos casos en que sea previsible una respuesta dinámica significativa de la estructura o elemento estructural considerado debido a la actuación del viento, la Velocidad Máxima Probable y por tanto el Factor de Ráfaga Máxima no permiten la caracterización dinámica de los efectos sobre las estructuras causados por la componente de fluctuación de la velocidad del viento, siendo necesario introducir la descripción espectral del mismo.

Mediante este modelo descriptivo, la estructura aleatoria del viento en las capas límite se define en el dominio de la frecuencia a través de la función de Densidad Espectral de Potencia o Función Espectral correspondiente a la componente longitudinal de la velocidad de fluctuación [ $S_{vf}(f)$ ]. Esta función representa la distribución de energía cinética por unidad de masa y por intervalo de frecuencia que se da en un Estado de Viento a

una altura  $z$  sobre la superficie, asociada a dicha componente de fluctuación. Es decir, la variación del valor medio cuadrático de la amplitud de las componentes de fluctuación en los diversos intervalos frecuenciales (Ver [2.1.7]). Se expresa en unidades de energía por unidad de masa y frecuencia, es decir en  $m^2 \cdot s^{-1}$  o en unidades dimensionalmente similares.

Su representación gráfica se denomina Espectro de Energía del Viento o Espectro de Ráfaga. Debido al amplio rango de frecuencias presentes en un Estado de Viento con valores energéticos significativos, la forma usual de representar el Espectro de Energía del viento es en un gráfico cartesiano cuyas abscisas se corresponden con la frecuencia en escala logarítmica ( $\ln f$ ) y cuyas ordenadas son la función  $f \cdot S_{vf}(f)$ , de forma que cumple la relación siguiente (Ver figura 2.1.2.2.3):

$$\int_{f_1}^{f_2} S_{vf}(f) df = \int_{f_1}^{f_2} f \cdot S_{vf}(f) \cdot d[\ln f] \quad [2.1.27]$$

La función de densidad espectral de potencia [ $S_{vf}(f)$ ] puede obtenerse en la práctica aplicando el análisis de Fourier de ondas compuestas a una serie temporal registrada (*anemograma*), al coincidir con la expresión de la función de autocorrelación normalizada de la velocidad de fluctuación del viento [ $R_{vf}(\tau)$ ] <sup>(11)</sup> en el dominio de la frecuencia. Es por tanto la transformada de Fourier de dicha función. Ambas funciones están relacionadas por el siguiente par de transformadas de Fourier:

$$S_{vf}(f) = 4 \cdot \sigma_{vf}^2 \cdot \int_0^{\infty} R_{vf}(\tau) \cdot \cos(2\pi f \tau) \cdot dt \quad [2.1.28]$$

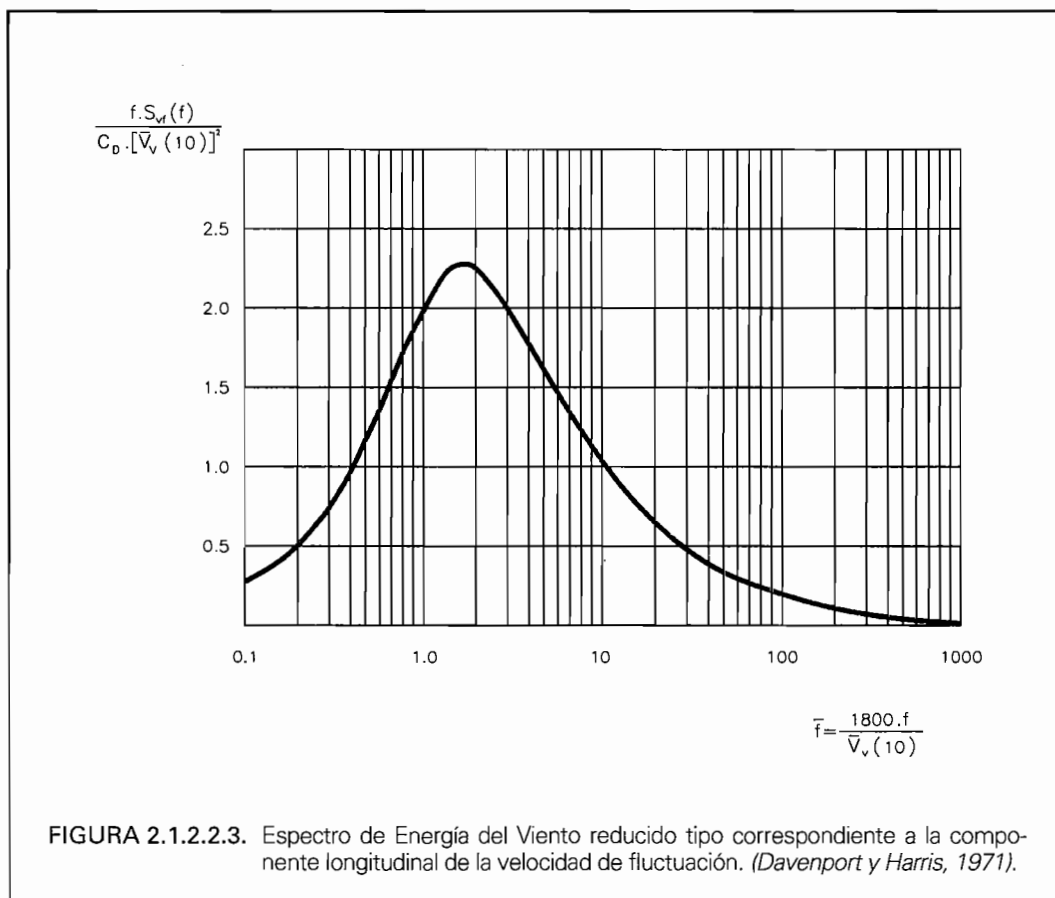


FIGURA 2.1.2.2.3. Espectro de Energía del Viento reducido tipo correspondiente a la componente longitudinal de la velocidad de fluctuación. (Davenport y Harris, 1971).

(11) Se define como función de autocorrelación normalizada de la velocidad de fluctuación del viento a:

$$R_{vf}(\tau) = \frac{1}{\sigma_{vf}^2} \cdot \frac{1}{T} \int_0^T V_{vf}(t) \cdot V_{vf}(t+\tau) \cdot dt \quad , \text{ siendo } T \text{ el tiempo de registro representativo adoptado.}$$

$$R_{vf}(\tau) = \frac{1}{\sigma_{vf}^2} \cdot \int_0^{\infty} S_{vf}(f) \cdot \cos(2\pi f\tau) \cdot df \quad [2.1.29]$$

Particularizando la ecuación [2.1.29] para el valor  $\tau=0$ , se cumple <sup>12)</sup>:

$$R_{vf}(0) = 1 \Rightarrow \sigma_{vf}^2 = \int_0^{\infty} S_{vf}(f) \cdot df \quad [2.1.30]$$

Es decir, la integral de la función de Densidad Espectral de Potencia extendida a todo el intervalo de frecuencias es la varianza de la distribución de las velocidades de fluctuación del viento. Por consiguiente, la energía cinética media por unidad de masa de un Estado de Viento a una altura  $z$ , correspondiente a la componente de fluctuación del viento, es igual al área encerrada por la función espectral.

La función espectral  $[S_{vf}(f)]$  permite la fácil identificación de todas las frecuencias dominantes en un Estado de Viento, asociadas a los valores energéticos mayores. Es por tanto un instrumento de primer orden para la previsión de posibles respuestas dinámicas significativas en las estructuras debidas a la actuación del viento (*Ver apartado 3.3. Efectos Dinámicos*).

El análisis de los espectros de energía correspondientes a vientos fuertes muestran que las frecuencias con valores energéticos significativos en un Estado de Viento se presentan en una amplia banda, normalmente entre 0.003 y 0.5 Hz <sup>13)</sup>. Los máximos o picos de energía se producen generalmente para frecuencias entre 0.02 y 0.1 Hz <sup>14)</sup>, desplazándose hacia las frecuencias mayores a medida que aumenta la severidad de las condiciones meteorológicas y la altura.

Debido a la escasez de información sobre las características de los espectros de viento en cada emplazamiento, en las aplicaciones prácticas para el proyecto de estructuras con efectos dinámicos significativos producidos por la acción del viento podrá utilizarse de forma general el Espectro Teórico Reducido Tipo de Davenport y Harris (1971) como aproximación de los espectros reales correspondientes a la componente longitudinal de la velocidad de fluctuación, sin perjuicio de otras formulaciones de validez reconocida para el lugar considerado. Su expresión matemática es:

$$\frac{f \cdot S_{vf}(f)}{(V_{v0}^*)^2} = \frac{4 \bar{f}}{[2 + \bar{f}^2]^{5/6}} \quad \text{ó} \quad \frac{f \cdot S_{vf}(f)}{C_D \cdot [\bar{V}_v(10)]^2} = \frac{4 \bar{f}}{[2 + \bar{f}^2]^{5/6}} \quad [2.1.31]$$

donde  $\bar{f}$  es la denominada frecuencia adimensional:

$$\bar{f} = \frac{1800 \cdot f}{\bar{V}_v(10)} ; f \text{ expresado en Hz y } \bar{V}_v(10) \text{ en m/s.}$$

siendo:

$S_{vf}(f)$ : Función de Densidad Espectral de Potencia correspondiente a la componente longitudinal de la velocidad de fluctuación del viento. ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

$f$ : Frecuencia. (Hz ó  $\text{s}^{-1}$ ).

$V_{v0}^*$ : Velocidad de fricción. (m/s). (*Ver apartado 2.1.2.2.1. a)*)

$C_D$ : Coeficiente de Arrastre Superficial. (*Adimensional*) (*Ver apartado 2.1.2.2.1. a)*)  
Los valores de  $C_D$  en función de los diversos tipos de rugosidad superficial pueden tomarse de la tabla 2.1.2.2.1.

$\bar{V}_v(10)$ : Velocidad media del viento a una altura de referencia de 10 m. (m/s).

Este espectro se representa gráficamente en la figura 2.1.2.2.3.

(12) Por las características de la distribución de las velocidades de fluctuación en un Estado de Viento (*distribución normal de valor medio cero*) se cumple:

$$R_{vf}(0) = \frac{1}{\sigma_{vf}^2} \cdot \overline{V_{vf}^2} = 1$$

(13) Períodos entre 2 s y 5 min.

(14) Períodos entre 10 y 50 s.

Como puede observarse, la función de densidad espectral de Davenport y Harris depende de la velocidad del viento y de la rugosidad superficial pero es independiente de la altura. Podrá admitirse que su aplicación es válida para cualquier altura  $z$  en la capa límite superficial.

### 2.1.3. VELOCIDAD BASICA DEL VIENTO

Para un Estado de Viento, se define como Velocidad Básica del Viento ( $V_b$ ) o Velocidad de Referencia a la velocidad media del viento en un intervalo de 10 minutos, medida a 10 metros de altura sobre la superficie en mar abierto o campo abierto sin obstáculos <sup>15)</sup>. Es decir:

$$V_b = \overline{V_v(10)}_I = V_{v,10\ min}(10)_I \quad [2.1.32]$$

Al vector velocidad básica se le asocia la dirección media del viento en la capa límite superficial para categoría I de rugosidad superficial (*Ver apartado 2.1.2.2.1.b*); es decir vector horizontal con una desviación en planta de aproximadamente 22.5° en sentido antihorario <sup>16)</sup> respecto a la dirección del viento geostrofico o de gradiente que le corresponda.

Todos los parámetros estadísticos representativos de un Estado de Viento en la capa límite superficial correspondientes a un área dada (*velocidad media, velocidades de ráfaga máxima asociadas a diferentes duraciones  $t$ , y varianza de la velocidad de fluctuación*) en cualquier punto del espacio pueden obtenerse a partir del parámetro  $V_b$  por medio de factores multiplicadores denominados Factores de Velocidad del Viento ( $F$ ). Dichos factores permiten tomar en consideración simplificada la variación del perfil de velocidades del viento con la altura, la rugosidad superficial y las grandes irregularidades topográficas de escala local. Es decir:

$$V_{v,t\ max}(z) = V_b \cdot F_A \cdot F_T \cdot F_R \quad [2.1.33]$$

siendo:

- $V_{v,t\ max}(z)$ : Velocidad máxima del viento o Velocidad de Ráfaga Máxima asociada a una duración  $t$ , y a una altura  $z$ . Simplificada su símbolo será  $V_{v,t}(z)$ .
- $V_b$ : Velocidad Básica del viento.
- $F_A$ : Factor de Altura y de Rugosidad Superficial.
- $F_T$ : Factor Topográfico.
- $F_R$ : Factor de Ráfaga Máxima. Simplificada Factor de Ráfaga.

En la capa límite superficial puede considerarse que la dirección del perfil vertical de velocidades medias de un Estado de Viento no varía con la altura aunque sí con la rugosidad superficial y las irregularidades topográficas (*Ver apartado 2.1.2.2.*). No obstante, en el ámbito de aplicación de esta Recomendación puede considerarse despreciable esta variación, salvo efectos localizados causados por irregularidades topográficas significativas. Por lo tanto, salvo en los casos citados, a efectos prácticos a toda velocidad del viento en la capa límite superficial se le asignará la dirección de la velocidad básica.

Los Factores de Velocidad de Viento no serán de aplicación para la obtención de la velocidad del viento en la capa de transición o de Ekman ( $z > 100\ m.$ ) a partir de la velocidad básica. En estos casos será de aplicación el perfil empírico de velocidades de la fórmula [2.1.19].

### 2.1.4. FACTORES DE VELOCIDAD DE VIENTO

#### 2.1.4.1. FACTOR DE ALTURA Y DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL ( $F_A$ )

El factor  $F_A$  toma en consideración el efecto combinado de la rugosidad superficial y de la altura sobre el perfil de velocidades medias. Para velocidades básicas altas ( $\geq 15\ m/s$ ), en las que puede admitirse que la velocidad del viento no queda afectada por la inestabilidad térmica de la atmósfera, la velocidad media del viento en la capa límite superficial, y por tanto el factor  $F_A$ , es creciente con la altura y decreciente con la rugosidad superficial.

A los efectos prácticos de cálculo del Factor  $F_A$  se definen cuatro categorías diferenciadas de rugosidad superficial, las cuales se incluyen en la tabla 2.1.4.1.1.

(15) Tipo de superficie I según tabla 2.1.2.2.1. o tabla 2.1.4.1.1.

(16) En el Hemisferio Sur el cambio de dirección es en sentido horario.



Si la rugosidad de un lugar es variable se tomará la categoría correspondiente a la zona menos rugosa en una distancia de 5 km a barlovento del punto considerado.

Si se considera que el viento puede actuar con el mismo valor según todas las direcciones horizontales, se tomará la categoría de rugosidad correspondiente a la zona menos rugosa en un radio de 5 km alrededor del punto considerado. Para poder considerar una categoría de rugosidad diferenciada es necesario la existencia de una longitud mínima homogénea de 500 metros.

En el ámbito de aplicación de esta Recomendación se tomará siempre categoría I, salvo cuando se tome en consideración la dirección de actuación del viento.

El valor del Factor  $F_A$  para la altura y categoría de rugosidad superficial considerada puede obtenerse en el ábaco de la tabla 2.1.4.1.2. Este ábaco ha sido desarrollado a partir de la formulación matemática del perfil medio de velocidades en la capa límite superficial, para superficies horizontalmente homogéneas (Ver apartado 2.1.2.2.1. a).

**TABLA 2.1.4.1.1. CATEGORIAS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA DEFINICION DE LOS FACTORES DE VELOCIDAD DE VIENTO ( $F$ ) Y VALORES DE LOS PARAMETROS ASOCIADOS**

TIPO DE SUPERFICIE	$z_0$ (m)	ALTURA DEL NIVEL CERO EFECTIVO SOBRE LA SUPERFICIE (m)
I. Mar abierto y campo abierto llano sin obstáculos (p.e. zonas costeras llanas, desiertos,...).	0.005	0.00
II. Campo abierto, llano u ondulado, con obstáculos dispersos (p.e. praderas, páramos, ...) (nivel general de los obstáculos de 5 m).	0.05	4.00
III. Superficies boscosas, campo con obstáculos abundantes y pequeñas zonas urbanas (nivel general de los obstáculos alrededor de 10 m).	0.30	9.00
IV. Superficies con grandes y frecuentes obstáculos y grandes ciudades (nivel general de los obstáculos alrededor de 15m o más).	1.00	15.00

#### 2.1.4.2. FACTOR TOPOGRAFICO ( $F_T$ )

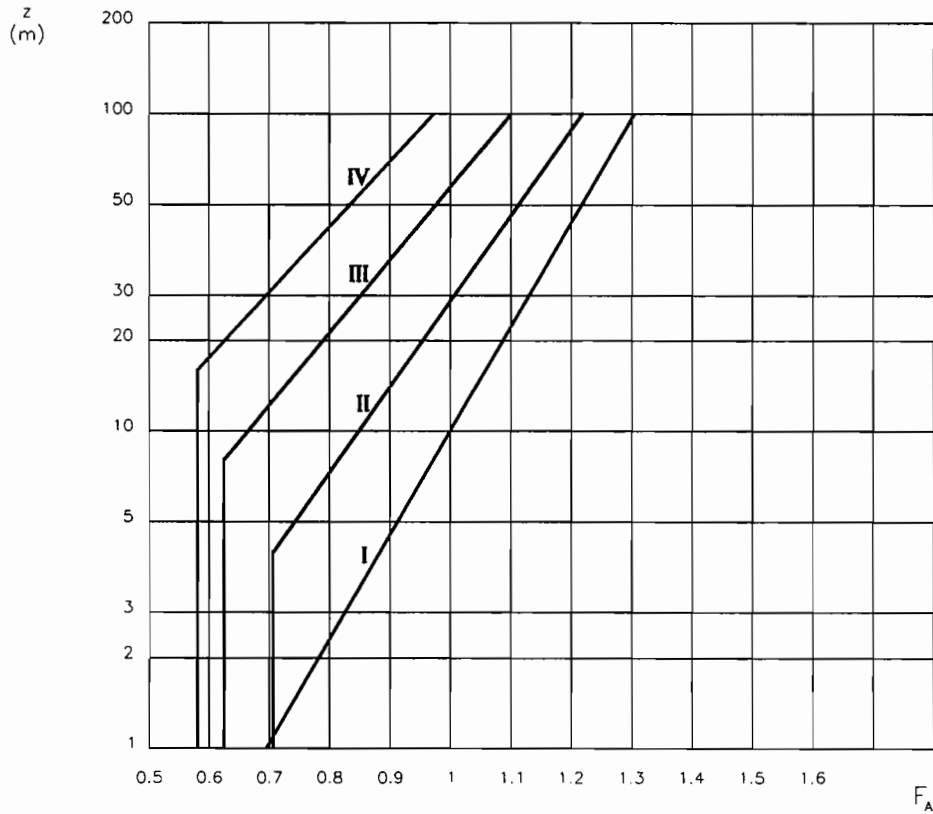
El factor  $F_T$  toma en consideración el efecto de las heterogeneidades topográficas locales <sup>17)</sup> sobre el perfil de velocidades medias.

En la cumbre de acantilados, colinas, mesetas muy expuestas, valles en embudo, y en sus proximidades suelen producirse aceleraciones significativas de la velocidad del viento. Por el contrario, en valles muy encajonados y profundos cuando el viento actúa perpendicularmente al eje del valle, y en el pie de acantilados y colinas a sotavento suelen producirse deceleraciones de la velocidad del viento.

Los efectos de la topografía local no se considerarán significativos para una determinada dirección del viento cuando la pendiente media del terreno a barlovento en una distancia

(17) Se entiende por heterogeneidades topográficas locales a accidentes topográficos aislados (no a regiones montañosas).

TABLA 2.1.4.1.2. FACTOR DE ALTURA Y DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL ( $F_A$ )



**NOTAS:**

- z: Altura efectiva sobre la superficie en las proximidades del punto considerado. El nivel cero efectivo se considerará aproximadamente coincidente con el nivel medio para el cual el volumen de obstáculos por encima del mismo es igual al volumen de huecos por debajo del mismo. (Ver tabla 2.1.4.1.1).
- En mar abierto y zonas costeras llanas sin obstáculos se considerará como nivel cero efectivo el nivel medio del mar.

de 5 km desde el punto considerado no exceda de 0.05. En esos casos la superficie se considerará llana o débilmente accidentada, tomando  $F_T$  el valor 1.

En los casos en que los efectos de la topografía local sean significativos, los valores del Factor Topográfico  $F_T$  pueden obtenerse, para algunos casos ideales tipificados, en la tabla 2.1.4.2.1.; sin perjuicio de la experiencia local registrada en el lugar considerado. Puede observarse que el Factor  $F_T$  varía con la altura, tomando los valores máximos (o mínimos) en las proximidades de la superficie y alcanzando el valor 1 a niveles más altos.

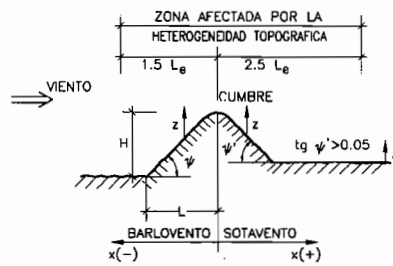
En todos los casos, el nivel cero de altura para el cálculo del Factor Topográfico será el correspondiente al nivel cero efectivo en el punto considerado. (Ver tablas 2.1.4.1.1. y 2.1.4.1.2.)

**2.1.4.3. FACTOR DE RAFAGA MÁXIMA ( $F_R$ )**

El Factor  $F_R$  permite la obtención de la velocidad máxima del viento asociada a una duración o intervalo de medición determinado (entre 3 s y 10 min) y a una altura  $z$ , a partir de la velocidad media del viento en el punto considerado ( $V_b, F_A, F_T$ ) y de las características de rugosidad superficial de la zona. Para velocidades básicas altas ( $\geq 15$  m/s), en las que puede

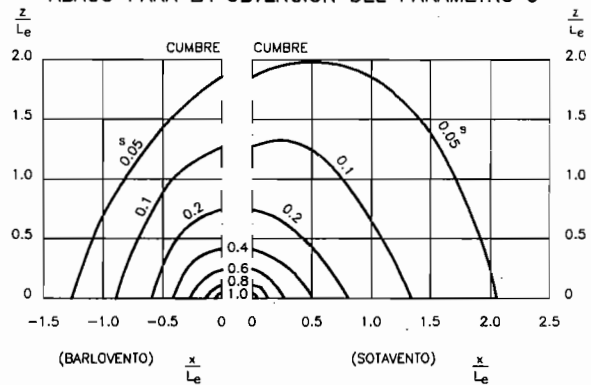
TABLA 2.1.4.2.1. FACTOR TOPOGRAFICO ( $F_T$ )

A. EN COLINAS Y SIERRAS

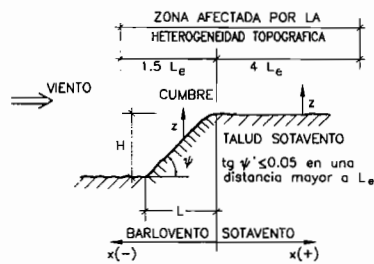


$0.05 < \text{tg } \psi \leq 0.3$	$\text{tg } \psi > 0.3$
$L_e = L$	$L_e = H/0.3$
$F_T = 1 + 2 \cdot s \cdot \text{tg } \psi$	$F_T = 1 + 0.6 \cdot s$

ABACO PARA LA OBTENCION DEL PARAMETRO s

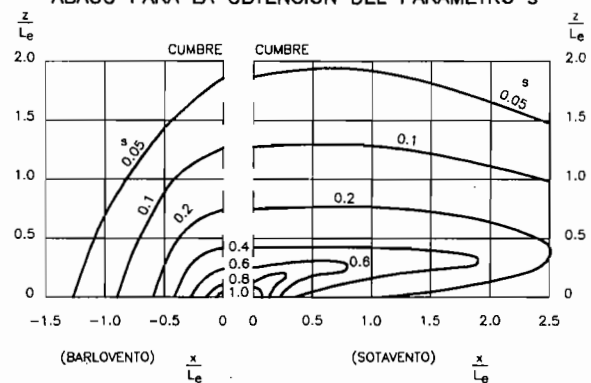


B. EN ACANTILADOS Y LADERAS



$0.05 < \text{tg } \psi \leq 0.3$	$\text{tg } \psi > 0.3$
$L_e = L$	$L_e = H/0.3$
$F_T = 1 + 2 \cdot s \cdot \text{tg } \psi$	$F_T = 1 + 0.6 \cdot s$

ABACO PARA LA OBTENCION DEL PARAMETRO s

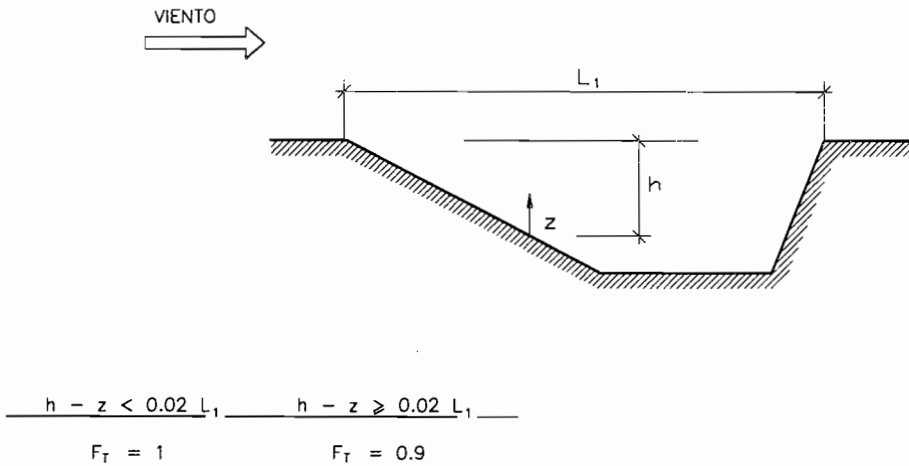


C. EN VALLES EN EMBUDO (Dirección del viento paralela al eje del valle)

$F_T = 1.5$

TABLA 2.1.4.2.1. (Continuación)

D. EN VALLES (*Dirección del viento perpendicular al eje del valle*)



**LEYENDA:**

- L: Longitud de la proyección horizontal del talud de barlovento sobre el nivel cero efectivo de la superficie a barlovento de la heterogeneidad topográfica considerada (*colina, sierra, acantilado o ladera*). (*Para la definición del nivel cero efectivo de la superficie ver fórmula [2.1.11]*)
- H: Altura efectiva de la heterogeneidad topográfica considerada (*colina, sierra, acantilado o ladera*), medida desde el nivel cero efectivo de la superficie a barlovento de la misma.
- tg  $\psi$ : Talud de la heterogeneidad topográfica considerada (*colina, sierra, acantilado o ladera*) a barlovento ( $H/L$ ).
- tg  $\psi'$ : Talud de la heterogeneidad topográfica considerada (*colina, sierra, acantilado o ladera*) a sotavento.
- $L_0$ : Longitud efectiva del talud a barlovento.
- s: Factor función de la altura  $z$  sobre el nivel local del terreno y de la proyección horizontal de la distancia a la cumbre de la heterogeneidad topográfica (*colina, sierra, acantilado o ladera*) ( $x$ ), relativas a  $L_0$ .
- $z$ : Altura sobre el nivel local del terreno.
- $L_1$ : Anchura de un valle medida perpendicularmente al eje longitudinal del mismo.
- $h$ : Profundidad efectiva de un valle en el punto considerado, medida desde el nivel cero efectivo de la superficie a barlovento.

**NOTAS:**

Cuando el talud a sotavento en una colina o sierra es mayor de 0.3 ( $tg \psi' > 0.3$ ) es posible que en esa zona se presenten menores aceleraciones que las previstas en la parte A de esta tabla o incluso deceleraciones de la velocidad. En estos momentos no hay datos que permitan una normalización general de este efecto, por lo que a falta de otros datos no se tendrá en cuenta, pudiéndose aplicar del lado de la seguridad lo previsto en la parte A de esta tabla.

admitirse que la velocidad del viento no queda afectada por la inestabilidad térmica de la atmósfera, el Factor  $F_R$  es creciente con la rugosidad superficial y decreciente con la altura.

El valor del Factor  $F_R$  correspondiente a intervalos de medición de 3 s, 5 s, 15 s y 1 min, para diferentes alturas y categorías de rugosidad superficial puede obtenerse en la tabla 2.1.4.3.1. Esta tabla ha sido desarrollada a partir de la formulación matemática de la velocidad máxima de un Estado de Viento en la capa límite superficial como función de la velocidad media, para cualquier intervalo de medición y superficie del terreno horizontalmente homogénea <sup>18)</sup>. (fórmulas [2.1.23] a [2.1.25])

A los efectos de cálculo del Factor  $F_R$ , para la consideración de las categorías de rugosidad superficial se seguirán los criterios establecidos en la tabla 2.1.4.1.1.

TABLA 2.1.4.3.1. FACTOR DE RAFAGA MAXIMA ( $F_R$ )																	
DURACION z (m)		CATEGORIA DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL															
		I				II				III				IV			
		3s	5s	15s	1min	3s	5s	15s	1min	3s	5s	15s	1min	3s	5s	15s	1min
3	1.52	1.50	1.45	1.37	1.76	1.73	1.65	1.54	1.98	1.94	1.84	1.69	2.24	2.18	2.06	1.87	
5	1.48	1.46	1.41	1.34	1.73	1.70	1.62	1.51	1.98	1.94	1.84	1.69	2.24	2.18	2.06	1.87	
10	1.44	1.42	1.38	1.31	1.63	1.60	1.54	1.44	1.96	1.91	1.82	1.67	2.24	2.18	2.06	1.87	
15	1.42	1.40	1.36	1.29	1.59	1.56	1.50	1.41	1.86	1.82	1.73	1.60	2.24	2.18	2.06	1.87	
20	1.40	1.38	1.34	1.28	1.56	1.53	1.48	1.39	1.80	1.76	1.68	1.56	2.12	2.07	1.96	1.79	
30	1.38	1.37	1.33	1.27	1.52	1.50	1.45	1.37	1.73	1.70	1.62	1.51	1.99	1.94	1.84	1.69	
40	1.37	1.36	1.32	1.26	1.50	1.48	1.43	1.35	1.68	1.65	1.58	1.48	1.91	1.87	1.78	1.64	
50	1.36	1.35	1.31	1.25	1.48	1.46	1.41	1.34	1.65	1.63	1.56	1.46	1.86	1.82	1.73	1.60	
60	1.36	1.34	1.30	1.25	1.47	1.45	1.40	1.33	1.63	1.60	1.54	1.44	1.82	1.78	1.70	1.57	
80	1.35	1.33	1.29	1.24	1.45	1.43	1.39	1.32	1.60	1.57	1.51	1.42	1.76	1.73	1.65	1.54	
100	1.34	1.32	1.29	1.24	1.44	1.42	1.38	1.31	1.58	1.55	1.49	1.40	1.73	1.70	1.62	1.51	

## 2.2. CARACTERIZACION DEL VIENTO EN PERIODOS LARGOS DE TIEMPO

### 2.2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Se considera caracterización del viento en periodos largos de tiempo a la descripción estadística de la variación en el dominio del tiempo de los Estados de Viento <sup>19)</sup> en un punto determinado, cada uno de ellos definido por los parámetros estadísticos representativos del vector velocidad del viento en dicho punto (*fundamentalmente*  $V_v$ ,  $V_{v,t,max}$ ,  $\sigma_{vfr}^2$  y *dirección media*  $[\bar{\alpha}]$ ) o su espectro de energía.

Una de las representaciones gráficas características de la evolución sucesiva de los Estados de Viento a lo largo del tiempo son las Curvas de Estado de Viento. Se denomina Curva de Estado de Viento a aquella función continua que representa la evolución de un determinado parámetro representativo del Estado de Viento (*en particular la velocidad media*) a lo largo del tiempo en un punto determinado. Se representa en un sistema de referencia que tiene en ordenadas el parámetro elegido y en abscisas el tiempo cronológico de medición. (Ver figura 2.2.1.1)

Para el análisis estadístico del viento en periodos largos de tiempo podrá aplicarse, en líneas generales, una aproximación estadística similar a la utilizada para la definición del Clima

(18) Aunque el factor de ráfaga es dependiente también de las heterogeneidades topográficas locales, podrá aceptarse a efectos prácticos su no dependencia de la topografía local debido a que su influencia en dicho factor es muy pequeña.

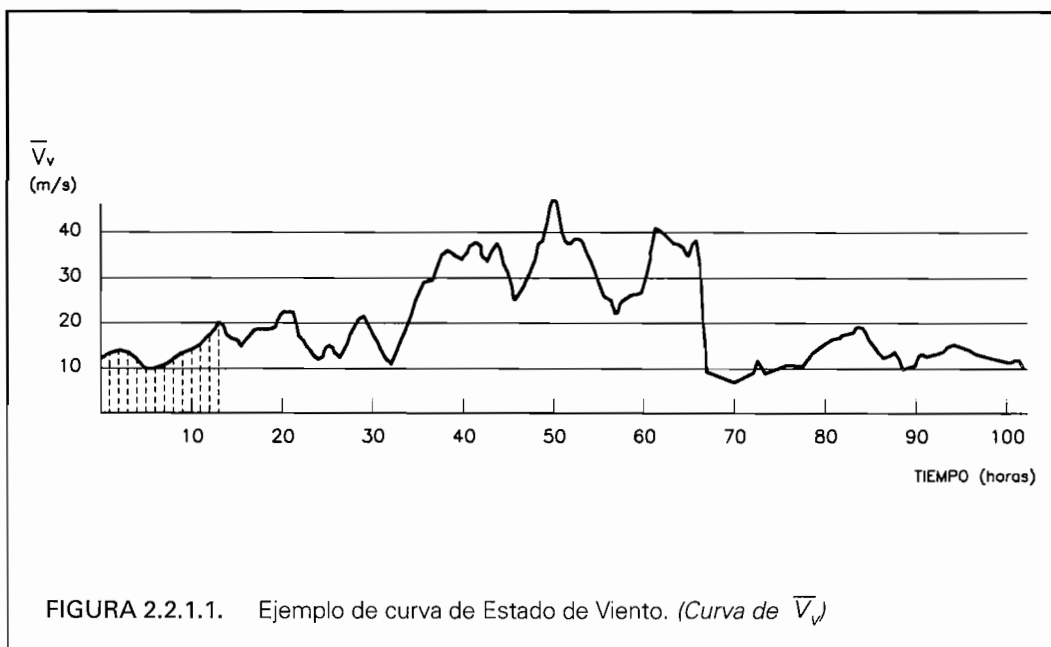
(19) Ver definición de Estado de Viento en el apartado 2.1.1.

Marítimo (Ver ROM 0.3. Acciones Climáticas I: Oleaje, y su Anejo I: Clima Marítimo en el Litoral Español). Por tanto puede considerarse definido a partir de las funciones de distribución marginales o conjuntas de los parámetros estadísticos representativos del Estado del Viento. Para la velocidad media, no teniendo en cuenta la componente direccional, puede escribirse:

$$P(\bar{V}_v \leq \bar{V}_{vi}) = P(\bar{V}_v) = \int_0^{\bar{V}_{vi}} p(\bar{V}_v) \cdot d(\bar{V}_v) \quad [2.2.1]$$

siendo  $p(\bar{V}_v)$  la función de densidad marginal de la velocidad media del viento.

Al igual que en el caso del oleaje y de otras variables climáticas, la obtención de esta función de distribución y de otras procedentes del análisis estadístico unidimensional o bidimensional de la variación en el dominio del tiempo de cada uno de los parámetros estadísticos representativos del Estado de Viento, es la base sobre la que se fundamentan los estudios de "Previsión del Viento" necesarios para la definición del Viento de Cálculo, ya que dichas funciones de distribución caracterizan el comportamiento continuado de las variables representativas del Estado de Viento a lo largo del tiempo.



Dado que la cantidad de información acumulada es escasa, es necesario, en general, realizar la previsión del viento por medio de extrapolaciones en las funciones de distribución estimadas a partir de las frecuencias de ocurrencia obtenidas de los datos disponibles con objeto de obtener las apropiadas condiciones de proyecto, las cuales suelen exceder al período de tiempo cubierto por los datos.

En la práctica ingenieril y operacional en el ámbito de aplicación de esta Recomendación, la descripción y previsión del viento en periodos largos de tiempo para una zona determinada puede considerarse suficientemente representativa cuando se obtengan las siguientes relaciones estadísticas:

- Distribución conjunta Velocidad Media (o también Velocidad Máxima)/Dirección, en forma de Rosas de Vientos.
- Análisis Estadístico Unidimensional de la variable Velocidad Media del Viento (o también Velocidad Máxima) para dos tipos de situaciones:
  - Regímenes Medios o estadística de valores secuenciales.
  - Regímenes Extremales o estadística de valores extremos o de temporal.
- Análisis de Persistencias o de duraciones continuadas de la variable Velocidad Media del Viento (o también Velocidad Máxima).

La caracterización del viento en periodos largos de tiempo es imprescindible para el proyecto de obras marítimas y portuarias tanto estructuralmente como funcionalmente. A partir de dicha caracterización surgirán los valores representativos de las acciones de viento tanto para fase de servicio (*en condiciones normales de operación, en condiciones extremas, o en condiciones excepcionales o accidentales*) como para fase de construcción, al definirse Estados de Viento característicos o de cálculo asociados a determinadas probabilidades de presentación o riesgos durante el periodo asignado en proyecto a cada una de las fases del mismo <sup>20</sup>). También se utilizará para la definición de criterios, condiciones de explotación y niveles de operatividad en puertos, y para el estudio de procesos litorales y de dispersión de contaminantes. Asimismo es fundamental para evaluar los niveles de dificultad de una ruta de navegación o de una cierta maniobra del buque en un emplazamiento determinado.

La caracterización del viento en periodos largos de tiempo también permite, en algunos casos, la caracterización y previsión del oleaje de viento (*oleaje Sea*) a largo término mediante la aplicación de modelos numéricos o teórico-empíricos simplificados de generación y desarrollo de oleaje a partir de datos meteorológicos (*Modelos de Hindcasting*) <sup>21</sup>). Esta metodología de caracterización del oleaje es de aplicación principalmente para aquellas zonas de fetch corto y geometría simple en las que no se dispongan de suficientes datos instrumentales o visuales de oleaje, y especialmente para la obtención del oleaje de viento local o de dársena de actuación simultánea compatible con el viento de cálculo.

### 2.2.2. DATOS DE PARTIDA

Para la caracterización y predicción del viento en periodos largos de tiempo, correspondiente a una zona determinada, es necesario disponer de datos de viento en dicha zona.

Lo ideal será disponer de registros instrumentales completos en el punto de interés o en sus proximidades, cubriendo sin merma de información un periodo abundante de años. No obstante esto no siempre es posible, sobre todo para datos de viento sobre el mar, por lo que en estos casos deberá recurrirse al empleo de datos (*generalmente no instrumentales*) procedentes de observaciones obtenidas desde buques en ruta, mucho más imprecisas y menos fiables; al empleo de métodos o modelos de obtención de campos de vientos a partir de cartas meteorológicas de presiones en superficie reales <sup>22</sup>); o a la extrapolación a alta mar de datos procedentes de registros costeros.

Así pues, los datos de viento necesarios en el ámbito de aplicación de esta Recomendación se pueden dividir en tres grupos:

- Registros Instrumentales:
  - En Estaciones Costeras.
  - En Estaciones Marítimas (*Boyas meteorológicas, barcos meteorológicos, buques-faro, plataformas petrolíferas,...*).
- Observaciones desde Buques en Ruta.
- Estimaciones de campos de viento a partir de cartas meteorológicas.

#### 2.2.2.1. REGISTROS INSTRUMENTALES

En la actualidad, la información instrumental disponible procede fundamentalmente de Estaciones Costeras. En España, las Estaciones Meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología del Ministerio de Obras Públicas, Transportes, y Medio Ambiente ubicadas en las proximidades de la costa constituyen una red que dispone, en la mayor parte de los casos, de suficientes datos fiables procedentes de registros sistemáticos y uniformemente espaciados en el tiempo.

En los últimos años la adquisición de datos en estas estaciones se realiza en forma de registros o muestras continuas simultáneas de velocidad y dirección instantáneas del viento, uniformemente espaciados en el tiempo en intervalos de 1 a 3 horas. Cada registro tiene generalmente una duración entre 10 minutos y una hora. La frecuencia de muestreo dentro del registro, o intervalo de medición utilizado para la obtención de la velocidad instantánea del viento, suele estar entre 3 segundos y 15 segundos en función de las características técnicas del aparato de medición. (*Ver ejemplo de un registro de velocidad y dirección instantánea del viento en la figura 2.1.1.1*).

(20) Ver ROM 0.2-90 ACCIONES EN EL PROYECTO DE OBRAS MARÍTIMAS Y PORTUARIAS. Apartado 3.2.3. Valores Representativos de las Cargas Variables.

(21) Ver Anejo II de esta Recomendación y ROM 0.3 Acciones Climáticas I: Oleaje.

(22) Ver apartado 2.1.2. PERFIL DE VELOCIDADES DE UN ESTADO DE VIENTO

Al considerarse cada registro como representativo de un Estado de Viento diferenciado, se almacenan únicamente como valores representativos del mismo los correspondientes a velocidad y dirección medias del viento ( $V_w, \bar{\alpha}$ ) y a velocidad máxima o velocidad de ráfaga máxima (*normalmente*  $V_{v,3s|max}$ ,  $V_{v,5s|max}$  o  $V_{v,15s|max}$ ).

La información instrumental sistemática, continua y fiable procedente de Estaciones Marítimas es en estos momentos escasa y muy dispersa geográficamente. En las zonas costeras españolas, al margen de las plataformas petrolíferas, en 1995 únicamente se dispone de dos estaciones marítimas constituidas por una boya océano-meteorológica de superficie. Dichas estaciones forman parte del Proyecto EMOD (*Estaciones Medidoras de Oleaje Direccional*) de Puertos del Estado. Estas boyas se han ido instalando en distintos puntos piloto con el objeto de ir adquiriendo fundamentalmente información direccional del oleaje y experiencia de funcionamiento. Desde 1990 están fondeadas con carácter permanente frente a las costas vasca y menorquina. La información de vientos procedentes de estas estaciones es, por tanto, todavía muy escasa.

Dada la escasa disponibilidad de registros instrumentales de viento sobre el mar, las mejores estimaciones de datos de viento en mar abierto podrán realizarse por extrapolación de aquéllos obtenidos en estaciones costeras próximas, a partir del establecimiento de factores de correlación entre los valores de los parámetros representativos del viento en la costa y sobre el mar. Estas extrapolaciones se considerarán válidas únicamente en aquellos casos y para aquellas áreas en las que los campos de viento sobre el mar y sobre la estación costera estén originados por el mismo gradiente de presión atmosférica, y no estén presentes en la zona importantes efectos locales secundarios como efectos embudo, encauzamientos o grandes abrigos. Es decir, la extrapolación será válida cuando la variación de los valores representativos del viento entre la estación costera y el punto de interés sobre el mar sean únicamente debidos a las variaciones de rugosidad superficial, a las diferencias de temperatura entre el aire y la superficie, y a las pequeñas heterogeneidades topográficas de escala local de la zona en la que está situada la estación costera. Los factores de correlación se determinarán sobre un mínimo de un año de observaciones locales específicas en el punto de interés sobre el mar, suplementada por las observaciones disponibles en la zona obtenidas desde buques en ruta.

A falta de observaciones locales específicas que permitan la determinación de factores de correlación, para velocidades de viento altas e irregularidades topográficas que puedan asimilarse a los casos ideales tipificados, los datos de viento obtenidos en una estación costera podrán extrapolarse directamente a mar abierto hasta una distancia máxima de 5 km desde la línea de costa próxima mediante la obtención de la Velocidad Básica del viento asociada al valor de velocidad del viento registrado en la estación costera. Se ha denominado Velocidad Básica de un Estado de Viento ( $V_b$ ) a la velocidad media del viento medida a 10 m sobre la superficie correspondiente a mar abierto o campo abierto llano sin obstáculos. Es decir:

$$V_b = \frac{V_{v,t}(z) \text{ registrada en la estación costera}}{F_A \cdot F_T \cdot F_R} \quad [2.2.2]$$

siendo F los factores de velocidad de viento correspondientes a la Estación Costera para la dirección de viento considerada (*Ver apartados 2.1.3. y 2.1.4.*). A la velocidad básica se le asociará la dirección del viento registrado.

#### 2.2.2.2. OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

La información de viento en mar abierto procedente de observaciones realizadas fundamentalmente desde buques en ruta es de gran utilidad en aquellas zonas en las cuales no existen registros instrumentales, o no son suficientes o fiables, y para completar (*p.e. direccionalmente*) la información instrumental disponible.

Los datos de viento estimados desde buques en ruta presentan un gran interés debido a su gran abundancia tanto en el tiempo como en el espacio, y porque además proporcionan información direccional. No obstante, la calidad y características de los mismos es generalmente desconocida, y por tanto su explotación estadística presenta múltiples problemas que es necesario tomar en consideración con el objeto de valorar la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Los problemas surgen principalmente de la metodología de la observación, de la heterogeneidad de la red de toma de datos, y de la correlación entre los parámetros estadísti-



cos representativos del viento y aquéllos estimados desde buques en ruta, pudiendo resumirse en:

– *Problemas debidos a la Metodología de la Observación*

Poca fiabilidad de los datos de viento estimados desde buques en ruta debido al método subjetivo de obtención de los mismos. Normalmente las observaciones de viento desde buques en movimiento se efectúan en horas fijas (0 horas, 6 horas, 12 horas, y 18 horas UTC<sup>23)</sup>) generalmente sin la ayuda de instrumentos de medida. En este caso, la velocidad del viento se estima por un observador situado en un punto variable y desconocido del buque en movimiento, a partir de las condiciones de navegabilidad del buque conjuntamente con las del estado del mar, usando la Escala Anemométrica Beaufort (Ver tabla 2.2.2.2.1.). Dicha velocidad se denominará Velocidad del Viento Estimada ( $V_{v,e}$ ).

Para paliar en la medida de lo posible estos problemas se deben aplicar a los datos diversos controles de calidad, eliminando los contradictorios o que no superen determinados test de calidad, e introduciendo correlaciones entre datos de distintas procedencias o con distintos criterios de medida que posibiliten la uniformización de los mismos. Por ejemplo, Cardone et Al. (1969) analizó el sesgo de “mal tiempo” de los datos de viento procedentes de observaciones desde buques en ruta, proponiendo la siguiente corrección de los mismos:

$$V_{v,e} \text{ corregida} = 2.16 (V_{v,e})^{7/9} \quad [2.2.3]$$

estando las velocidades de viento expresadas en nudos.

La equivalencia entre el Número Beaufort y la velocidad media del viento a una altura de referencia de 10 metros sobre la superficie en mar abierto o campo abierto plano sin obstáculos puede considerarse a partir de los valores dados en la tabla 2.2.2.2.1.

– *Problemas debidos a la Heterogeneidad de la Red de Toma de Datos*

- Para un lugar determinado en mar abierto, la densidad de observaciones en el tiempo es muy irregular. Las observaciones disponibles consistirán normalmente en estimaciones del viento hechas en intervalos irregulares de tiempo por una variedad de observadores desde diferentes buques.
- La distribución de observaciones dentro de la cuadrícula o zona estudiada no es uniforme y se agrupa en las rutas de navegación densa.
- Carencia de observaciones durante algunos temporales debido a que motivos de seguridad impiden la navegación de buques durante grandes tormentas. A su vez, sesgo de “buen tiempo” hacia vientos más débiles al tender los buques a evitar zonas con mal tiempo.

Todo lo anterior provoca que las extrapolaciones que se efectúan en el tiempo o en el espacio puedan no ser fiables. El problema se agrava si la cuadrícula geográfica analizada es amplia y las lagunas de información en el tiempo son grandes. Una forma de solventar estos problemas puede ser la realización de estudios de correlación estadística entre las zonas con abundancia de datos y las que adolecen de los mismos.

– *Problemas de Correlación entre los Parámetros Representativos del Viento obtenidos Instrumentalmente y los Estimados desde Buques en Ruta*

Las dificultades de correlación entre las velocidades del viento estimadas desde buques en ruta y las representativas de un Estado del Viento ( $V_v$ ,  $V_{v,3s}$ ,  $V_{v,15s}$ ,  $V_{v,1min}$ , ...) a una altura determinada son muy grandes debido a las características específicas de los datos y a la metodología de la observación.

Los intentos de correlacionar los parámetros del viento estimados desde buques en movimiento e instrumentales no han dado, hasta la actualidad, resultados que permitan el establecimiento de relaciones empíricas fiables entre estos parámetros, ni tan solo para zonas específicas y limitadas. Algunos autores consideran

(23) UTC: Tiempo Universal Coordinado.

**TABLA 2.2.2.2.1. ESCALA BEAUFORT DE VELOCIDAD DEL VIENTO. EQUIVALENCIA ENTRE EL NUMERO BEAUFORT Y LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO\* A UNA ALTURA DE REFERENCIA DE 10 m. SOBRE LA SUPERFICIE EN MAR ABIERTO O CAMPO ABIERTO PLANO SIN OBSTACULOS**

VIENTO	NUMERO BEAUFORT	m/s	nudos
Calma	0	< 0.3 (Calma)	< 1 (Calma)
Ventolina	1	0.3 - 1.5	1 - 3
Flojito	2	1.6 - 3.3	4 - 6
Apacible	3	3.4 - 5.4	7 - 10
Bonancible	4	5.5 - 7.9	11 - 16
Fresquito	5	8.0 - 10.7	17 - 21
Fresco	6	10.8 - 13.8	22 - 27
Frescachón	7	13.9 - 17.1	28 - 33
Duro	8	17.2 - 20.7	34 - 40
Muy Duro	9	20.8 - 24.4	41 - 47
Temporal	10	24.5 - 28.4	48 - 55
Borrasca	11	28.5 - 32.6	56 - 63
Huracán	12	≥ 32.7	≥ 64

**NOTAS: (\*)** Para considerar el intervalo de medición asociado a la velocidad media definida en esta tabla debe tomarse en consideración lo definido en el párrafo "Problemas de correlación entre los parámetros representativos del viento obtenidos instrumentalmente y los estimados desde buques en ruta", del apartado 2.2.2.2.

que las velocidades de viento estimadas desde buques pueden corresponderse con velocidades máximas asociadas a periodos de medición entre 3 segundos y un minuto (*velocidades de ráfaga máxima*). Sin embargo, otros autores consideran que dichas velocidades están asociadas a valores próximos a la velocidad media del viento.

Si se admiten las equivalencias aplicadas usualmente entre unidades Beaufort y la velocidad del viento en m/s o nudos (*Ver tabla 2.2.2.2.1*), puede considerarse que las velocidades estimadas están asociadas a valores próximos a la velocidad media del viento a una altura de referencia de 10 m. No obstante, los datos incluidos en la Base de Datos de viento estimados desde buques no proceden exclusivamente de estimaciones cualitativas Beaufort, aunque éstos son aún muy numerosos, sino que incluyen cada vez más datos procedentes de registros instrumentales situados en el puente de buques en movimiento o en buques meteorológicos OWS (*Ocean Weather Ships*), los cuales generalmente suministran el parámetro velocidad máxima del viento correspondiente a periodos de medición entre 10 y 15 segundos. Así mismo, algunos estudios realizados (*Cardone, 1969/1990*) han concluido que la altura media del registro de la velocidad del viento es en estos casos de aproximadamente 20 metros.

Por todo lo anterior, a falta de otros datos y sin perjuicio de otras, puede utilizarse orientativamente del lado de la seguridad la relación siguiente:

$$V_{v,e}|_{\text{corregida}} = V_{v,1\text{min}}(10\text{ m}) \quad [2.2.4]$$

Esta relación se ha definido conservadoramente valorando las incertidumbres y heterogeneidades existentes en los datos de vientos estimados desde buques, así como las correlaciones observadas entre dichos datos y los registrados en las estaciones costeras situadas en el litoral español. La relación [2.2.4] también puede

utilizarse tentativamente para la uniformización de datos de viento procedentes de observaciones desde buques en ruta entre datos con distintos orígenes o con distintos criterios de medida.

La toma de datos de viento procedentes de observaciones desde buques y su posterior difusión está regida a nivel mundial por la Organización Meteorológica Mundial (*WMO*). Esta Organización encargó la recogida y distribución de datos a nivel mundial a los Estados Unidos y a la antigua Unión Soviética. Por parte de los primeros el organismo centralizador es la National Oceanic and Atmospheric Administration (*NOAA*), que canaliza los datos procedentes de distintas entidades en diferentes países. Independientemente de lo anterior hay otras entidades públicas y privadas (*Servicios Oceanográficos de las Marinas de Estados Unidos y del Reino Unido*) que disponen de datos brutos, o elaborados en forma de Rosas de Viento, capaces de suministrarlos.

Los datos de viento estimados desde buques en ruta para el área de influencia de las costas españolas se encuentran disponibles en España en el Centro de Estudios de Puertos y Costas (*CEPYC*) del CEDEX, y en el Departamento T. de Clima Marítimo de Puertos del Estado.

Las Bases de Datos Climáticos estimados desde buques en ruta correspondientes a un área determinada incluyen, conjuntamente con la información de la dirección e intensidad del viento y la identificación y posición del buque que realiza las medidas, datos visuales de oleaje (*Ver ROM 0.3*) y otros datos meteorológicos simultáneos (*temperatura aire-agua, visibilidad,...*)

### 2.2.2.3. ESTIMAS DE CAMPOS DE VIENTO A PARTIR DE CARTAS METEOROLÓGICAS

Las estimas de campos de viento a partir del análisis de cartas meteorológicas de presiones en superficie reales, correspondientes a periodos pasados, son imprescindibles como fuente de información de datos de viento en aquellas zonas en las que no existe otro tipo de información de viento disponible, o ésta es escasa.

La estimación de campos de viento a partir de cartas meteorológicas podrá realizarse según la metodología definida en los apartados 2.1.2.1. y 2.1.2.2. de la presente Recomendación. Según esta metodología, en primer lugar se obtienen las características del viento geostrófico o de gradiente asociado a la carta y punto analizados, para a continuación obtener la velocidad media del viento a 10 m. de altura sobre la superficie como función del viento geostrófico o de gradiente y de la rugosidad superficial en el punto considerado. Para mar abierto o zonas costeras llanas sin obstáculos, la velocidad media en superficie puede obtenerse directamente en función de la velocidad del viento de gradiente por medio de la gráfica de la figura 2.1.2.2.2.

El modelo de estimación de datos de viento a partir de cartas meteorológicas de superficie incluido en esta Recomendación tiene validez únicamente para vientos fuertes, ya que en esos casos puede considerarse despreciable la influencia de la estabilidad térmica de la atmósfera. No obstante puede dar lugar a errores considerables, especialmente sobre terrenos no homogéneos o de topografía accidentada. Es por tanto principalmente recomendable para estimas de viento en mar abierto o en campo abierto llano sin obstáculos. En cualquier caso es recomendable, siempre que sea posible, comparar los resultados con otro tipo de observaciones en la zona considerada para confirmar su validez.

La colección de cartas meteorológicas de superficie históricas utilizables en España puede localizarse en el Instituto Nacional de Meteorología (*Boletín Diario del Instituto*).

### 2.2.3. ROSA DE VIENTOS

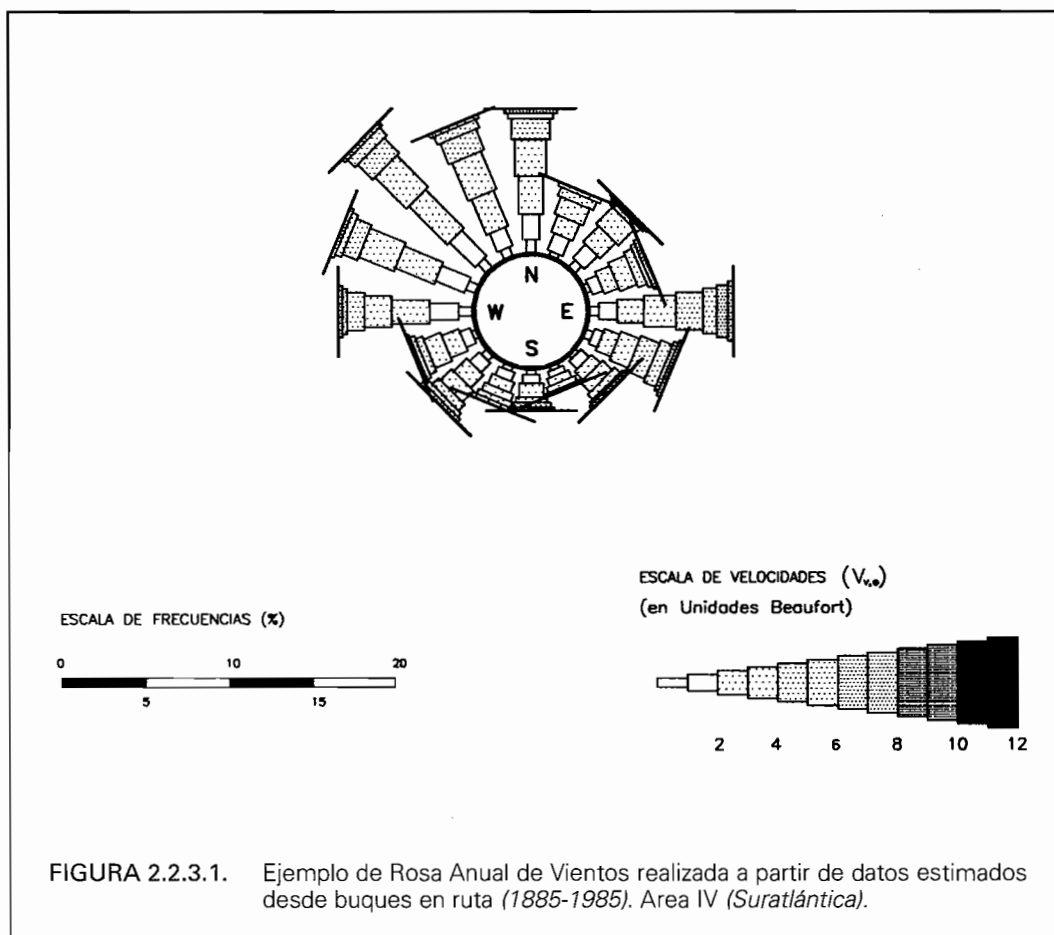
Se denomina Rosa Direccional de Vientos a la representación gráfica de la distribución conjunta Velocidad del Viento/Dirección ( $V_w/\alpha$ ), o frecuencia de presentación de velocidades de viento en cada sector direccional, correspondiente a datos instrumentales registrados en una estación meteorológica o a datos estimados desde buques en ruta contenidos en un área marítima. (*Ver figura 2.2.3.1*). Para cada intervalo de velocidades y sector direccional, la frecuencia de presentación puede obtenerse como cociente entre la suma del número de observaciones en dicho intervalo de velocidades en todas las direcciones contenidas en el sector, y el número de observaciones válidas totales.

Generalmente se considerarán sectores direccionales de  $45^\circ$  o  $22.5^\circ$  de amplitud (8 o 16 rumbos respectivamente) <sup>24)</sup>, e intervalos de velocidad de viento de una unidad Beaufort (para datos estimados desde buques en ruta) o 2 m/s (para datos instrumentales) con el objeto de reducir el número de intervalos de la variable analizada. La escala de frecuencias se dará en tanto por ciento.

Las rosas de vientos pueden ser mensuales, estacionales o anuales en función del periodo de observación o registro considerado.

Los datos necesarios para obtener una Rosa de Vientos en un punto o zona determinada deberán abarcar el mayor número de años posibles. La fiabilidad de la rosa aumentará con el número de años considerado al reducirse la incertidumbre sobre la representatividad de la muestra y recogerse las posibles variaciones hiperanuales. Generalmente pueden considerarse admisibles las rosas de vientos obtenidas a partir de periodos de toma de datos muy cortos (al menos 3 años), siempre y cuando el nivel de datos válido correspondiente a dicho periodo sea superior al 75 % y los vacíos de información estén uniformemente repartidos a lo largo del periodo considerado.

Para que una Rosa de Vientos, o cualquier tipo de análisis estadístico, realizado a partir de datos estimados desde buques en ruta, sea totalmente representativo de un área marítima deberán considerarse tamaños de cuadrícula en los que pueda aceptarse que las características del viento son homogéneas en todos sus puntos. Por tanto, el tamaño máximo de la misma dependerá de las características climáticas particulares del área analizada. En cualquier caso ésta deberá tener un tamaño mínimo para que la muestra de partida (observaciones contenidas en la misma) sea representativa de la población a la que pertenece.



(24) Se recuerda que al contrario que en otras variables vectoriales, la dirección del viento toma como denominación la procedencia del vector velocidad, no su destino. Es decir, un viento de dirección Sur significa un viento procedente del Sur.

Las Rosas de Vientos caracterizan direccionalmente al viento de forma cualitativa al permitir definir cual es la dirección reinante o más frecuente (*longitud de brazo mayor*) y dominante o más severa (*brazo más ancho*) en el punto, zona y periodo de tiempo analizado. Esto es especialmente importante para estudios de operación, explotación y planificación portuarias; así como para evaluar niveles de dificultad de una ruta de navegación o de una cierta maniobra de un buque en un emplazamiento determinado.

#### 2.2.4. ANALISIS ESTADISTICO UNIDIMENSIONAL DE LA VARIABLE VELOCIDAD DEL VIENTO

El análisis estadístico unidimensional de la variación en el dominio del tiempo del parámetro velocidad del viento utilizado como representativo del Estado del Viento ( $V_v, V_{v,3s}, V_{v,5s}, \dots, V_{v,e}$ ), se realiza fundamentalmente para dos tipos de situaciones:

- Condiciones Medias (*Regímenes Medios*)
- Condiciones Extremas (*Regímenes Extremales*)

##### 2.2.4.1. REGIMENES MEDIOS

El régimen medio de cualquier variable relaciona los diversos valores de la misma con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en un periodo de tiempo medio, en general igual al año climático medio (*régimen medio anual*). También pueden considerarse periodos mensuales, estacionales, semestrales o de cualquier otra duración, denominándose entonces regímenes medios mensuales, estacionales o semestrales respectivamente.

En el caso del viento, la determinación del régimen medio equivale a estimar la función de distribución estadística de la variable velocidad del viento (*media, máxima asociada a diversos intervalos de medición, o estimada a partir de observaciones desde buques en ruta*), en general para un año climático medio, en el punto o zona analizada [ $P(V_v \leq V_{v0})$ ]. Dicha función define el porcentaje de tiempo en que, para el año medio, la velocidad del viento considerada no excede de cada valor (*probabilidad de no excedencia*). Al régimen medio anual de la velocidad del viento también se le denomina Régimen de Vientos.

Si consideramos la velocidad del viento no únicamente como una magnitud escalar sino que también tenemos en cuenta su componente direccional, podemos obtener regímenes medios direccionales definiendo la probabilidad de no excedencia para cada nivel de la velocidad del viento, condicionada a que el viento tenga la dirección comprendida en el sector o sectores considerados. Es decir, para la obtención de regímenes direccionales únicamente se tomarán en consideración las observaciones contenidas en cada uno de los sectores independientemente. Por tanto, para trabajar en términos absolutos, las probabilidades condicionadas obtenidas de estos regímenes direccionales deberán multiplicarse por la frecuencia de presentación de la dirección o direcciones correspondientes. Es decir, para el caso particular del régimen medio correspondiente al sector direccional  $i$ , se cumplirá:

$$P_i(V_{v0}) = 1 - [1 - P_i^i(V_{v0})] \cdot f_i \quad [2.2.5]$$

siendo:

$P_i(V_{v0})$ : Probabilidad absoluta de no excedencia del nivel  $V_{v0}$ , correspondiente al sector  $i$ .

$P_i^i(V_{v0})$ : Probabilidad condicional de no excedencia del nivel  $V_{v0}$ , obtenida del régimen medio direccional correspondiente al sector  $i$ .

$f_i$ : Frecuencia de presentación del sector direccional  $i$ .

Por tanto, cuando interese tener en cuenta simultáneamente varias direcciones, la probabilidad total de no excedencia de cada valor de la variable se obtendrá a partir del sumatorio de probabilidades absolutas de excedencia correspondientes a todos los sectores direccionales considerados. Es decir:

$$P(V_{v0}) = 1 - \left\{ \sum_{i=1}^n [1 - P_i^i(V_{v0})] \cdot f_i \right\} \quad [2.2.6]$$

siendo  $n$  el número de sectores considerados.

La frecuencia de presentación de cada sector ( $f_i$ ) se obtiene como cociente entre la suma del número de observaciones en todas las direcciones contenidas en el sector ( $N_i$ ) y el número de observaciones válidas totales ( $N_T$ ). Para su determinación se recomienda no efectuar ningún tipo de reparto de calmas, considerándolas todas ellas agrupadas en un sector adicional.

$$f_i = \frac{N_i}{N_T} \quad [2.2.7]$$

La estima de los regímenes medios del viento podrá realizarse tanto a partir de datos instrumentales o de observaciones realizadas desde buques en ruta, como de datos obtenidos de estimas de campos de viento a partir de cartas meteorológicas. Los datos necesarios para obtener el régimen medio anual del viento en un punto o zona determinada deberán abarcar el mayor número de años posibles. De igual forma que lo señalado para las Rosas de Viento, la fiabilidad del régimen medio obtenido aumentará con el número de años considerado, al reducirse la incertidumbre sobre la representatividad de la muestra y recogerse las posibles variaciones hiperanuales. La determinación del tiempo mínimo de muestreo que permita una buena estima del año medio debe hacerse para cada emplazamiento, realizando estudios comparativos con muestras que incluyan diferente número de años hasta observar la estabilidad del régimen. Generalmente pueden considerarse admisibles las estimas del régimen medio obtenidas a partir de periodos de toma de datos muy cortos (*al menos 3 años*), siempre y cuando el nivel de datos válido correspondiente a dicho periodo sea superior al 75 %, los vacíos de información estén uniformemente repartidos a lo largo del año, y el ajuste de la función de distribución se realice a los datos de la zona central del régimen <sup>25)</sup>. En cualquier caso es recomendable, siempre que sea posible, contrastar el régimen medio obtenido a partir de diferentes fuentes de datos con objeto de valorar su fiabilidad.

Para la obtención de regímenes medios mensuales, estacionales o semestrales será extrapolable lo anteriormente definido, tomando como referencia, en lugar del año, el periodo de tiempo analizado.

El cálculo del Régimen de Vientos se realizará a partir de las Curvas de Estado de Viento (*Ver apartado 2.2.1*), o del histograma acumulado <sup>26)</sup> de velocidades de viento cuando las características de la información utilizada impida determinar la función de evolución continua del Estado del Viento. Es decir, el cálculo del régimen medio del viento a partir a datos procedentes de observaciones desde buques en ruta puede realizarse únicamente a partir del histograma acumulado.

Las metodologías para la obtención de probabilidades de no excedencia (*muestra representativa*) a partir de las Curvas de Estado o del histograma acumulado pueden encontrarse en la ROM 0.3. Oleaje. En el caso del viento se recomienda establecer los valores de la variable velocidad del viento para el cálculo de excedencias en intervalos de clase de una Unidad Beaufort (*de 3 a 8 nudos o de 1.5 a 4 m/s*) para datos procedentes de observaciones desde buques en ruta, y de 5 nudos o de 2 m/s para datos instrumentales o procedentes de estimas de campos de viento a partir de cartas meteorológicas.

Una vez obtenida la muestra representativa, el conocimiento de los regímenes medios de viento requerirá la estimación de la función de distribución estadística de la variable velocidad del viento de mejor ajuste, para el periodo climático medio considerado. Simplificadamente podrá considerarse que la distribución estadística de la velocidad del viento se ajusta a una distribución de Weibull biparamétrica (*parámetro de posición A=0*).

La expresión matemática de la distribución de Weibull biparamétrica es:

$$P(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{B}\right)^C}, \quad 0 \leq x \leq \infty \quad [2.2.8]$$

siendo B y C los parámetros de escala y forma respectivamente. En general el parámetro C toma valores próximos a 2, valor correspondiente a la función de Rayleigh.

(25) Se entiende como zona media o central del régimen aquella que presenta el mayor número de ocurrencias.

(26) Se entiende por histograma de una variable al diagrama de rectángulos que relaciona los distintos intervalos de clase de la variable (*base del rectángulo*) con las frecuencias de presentación correspondientes. El histograma acumulado se obtiene acumulando en cada intervalo las observaciones correspondientes a los intervalos anteriores.

Con objeto de evitar errores en las extrapolaciones debido a desviaciones importantes en las colas de la distribución, causadas por el reducido número de ocurrencias que presentan ambas en relación a la muestra total, el ajuste deberá realizarse principalmente a los datos de la zona central <sup>25)</sup>, siempre que el tamaño muestral sea suficiente para que el ajuste en dicha zona sea aceptable.

El ajuste y estima de los parámetros de la distribución se realizará por cualquiera de los métodos estadísticos de ajuste en uso (*momentos, máxima verosimilitud, mínimos cuadrados, o gráfico ajustando visualmente una recta a la nube de puntos muestrales representados en el papel probabilístico correspondiente*) <sup>27)</sup>.

Los regímenes medios se representan en un gráfico cartesiano cuyas ordenadas se corresponden con la velocidad del viento, y cuyas abscisas son las probabilidades de no excedencia. La representación gráfica puede realizarse en ejes que tengan escala lineal o en ejes con escala distorsionada de acuerdo con una función de distribución estadística (*escala lineal de las variables reducidas*). Este último soporte de representación se denomina papel probabilístico.

El papel probabilístico correspondiente a la función de Weibull biparamétrica se incluye en la tabla 2.2.4.1.1. Cuando el régimen medio se ajusta a la distribución asociada al papel probabilístico utilizado, la representación del mismo resultará ser una recta (*Ver ejemplo de la figura 2.2.4.1.1*).

El conocimiento de los regímenes medios de viento, al permitir evaluar el tiempo en que la velocidad del viento va a exceder determinados niveles en la dirección o direcciones consideradas, será fundamental en ingeniería marítima y portuaria entre otros para:

- Proyectos de obras portuarias para la definición de condiciones límite de operatividad, acciones de viento asociadas a condiciones normales de operación, valores frecuentes y cuasi-permanentes de la acción del viento, y acciones para la comprobación del estado límite último de fatiga; así como para el estudio de tiempos de construcción.
- Explotación portuaria al condicionar la operatividad en instalaciones de atraque, instalaciones en mar abierto, instalaciones de manipulación de mercancías, y la maniobrabilidad de los buques en canales de acceso, dársenas y demás áreas de flotación.
- Estimación del régimen medio de otras variables físicas dependientes del viento como el oleaje local que se puede generar en una determinada zona (*oleaje tipo Sea*).
- Ingeniería de costas por su incidencia en la formación de corrientes, y por tanto en el transporte litoral.
- Análisis medioambiental de dispersión de contaminantes o de productos de dragado.

#### 2.2.4.2. REGIMENES EXTREMALES

Se denomina régimen extremal a la función de distribución de los valores extremos de una determinada variable en el punto o zona considerado. Dicha función relaciona los valores máximos previsible de la variable con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en un periodo de tiempo prefijado (*generalmente un año*).

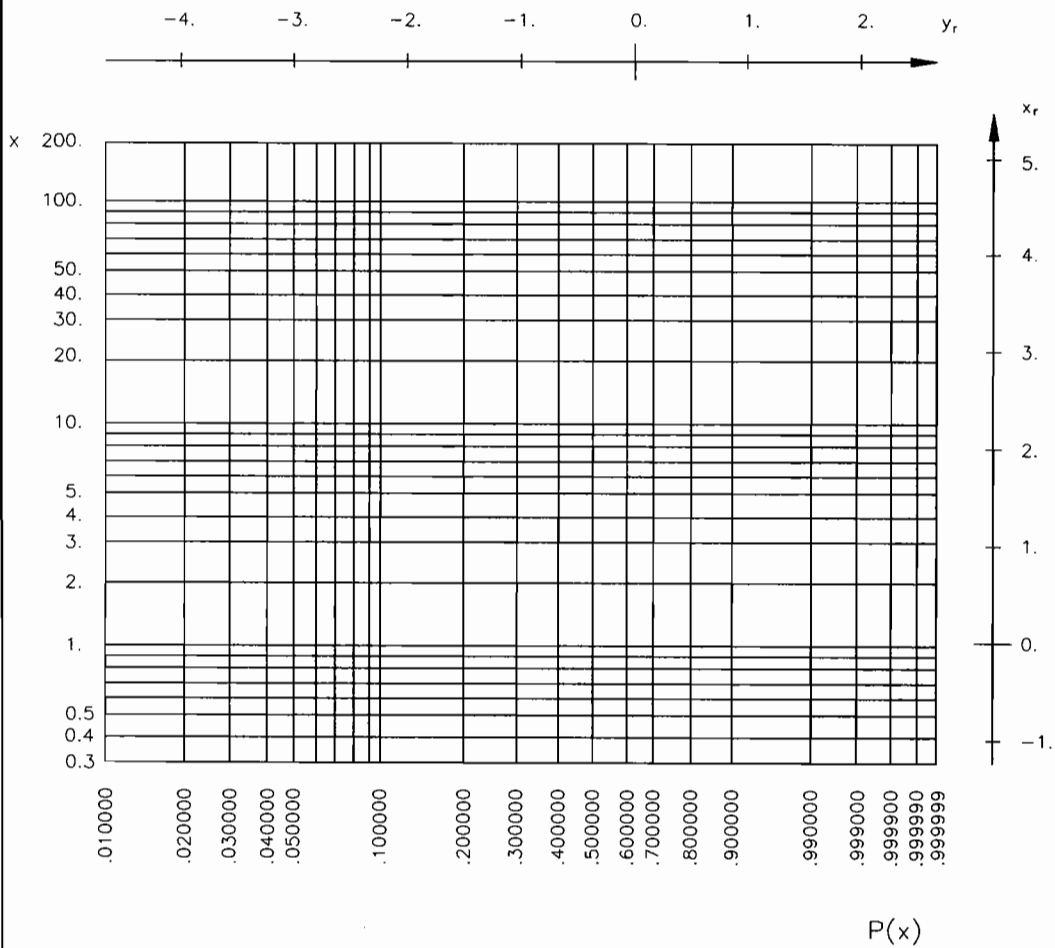
Esta probabilidad también puede expresarse en términos de periodo de retorno o de recurrencia. Se define como periodo de retorno (T) para un valor determinado de la variable ( $X_i$ ), el intervalo medio de tiempo en el que dicho valor es superado una sola vez; es decir, el tiempo medio entre dos excedencias consecutivas de  $X_i$ . La relación entre probabilidad de no excedencia en un periodo de tiempo y periodo de retorno, medido en dichas unidades de tiempo, será:

$$T(X_i) = 1 / [1 - P(X \leq X_i)] \quad [2.2.9]$$

En el caso del viento, la determinación del régimen extremal equivale a estimar la función de distribución de los valores extremos de la variable velocidad del viento (*media*,

(27) La descripción detallada de los métodos de ajuste se incluye en la ROM 0.3.- Acciones Climáticas I: Oleaje.

TABLA 2.2.4.1.1. PAPEL PROBABILISTICO CORRESPONDIENTE A LA DISTRIBUCION DE WEIBULL BIPARAMETRICA



VARIABLES REDUCIDAS

$$y_r = \ln[-\ln(1-P(x))]$$

$$x_r = \ln x$$

RECTA DE AJUSTE EN TERMINOS DE VARIABLE REDUCIDA

$$y_r = C \cdot x_r - C \cdot \ln B$$



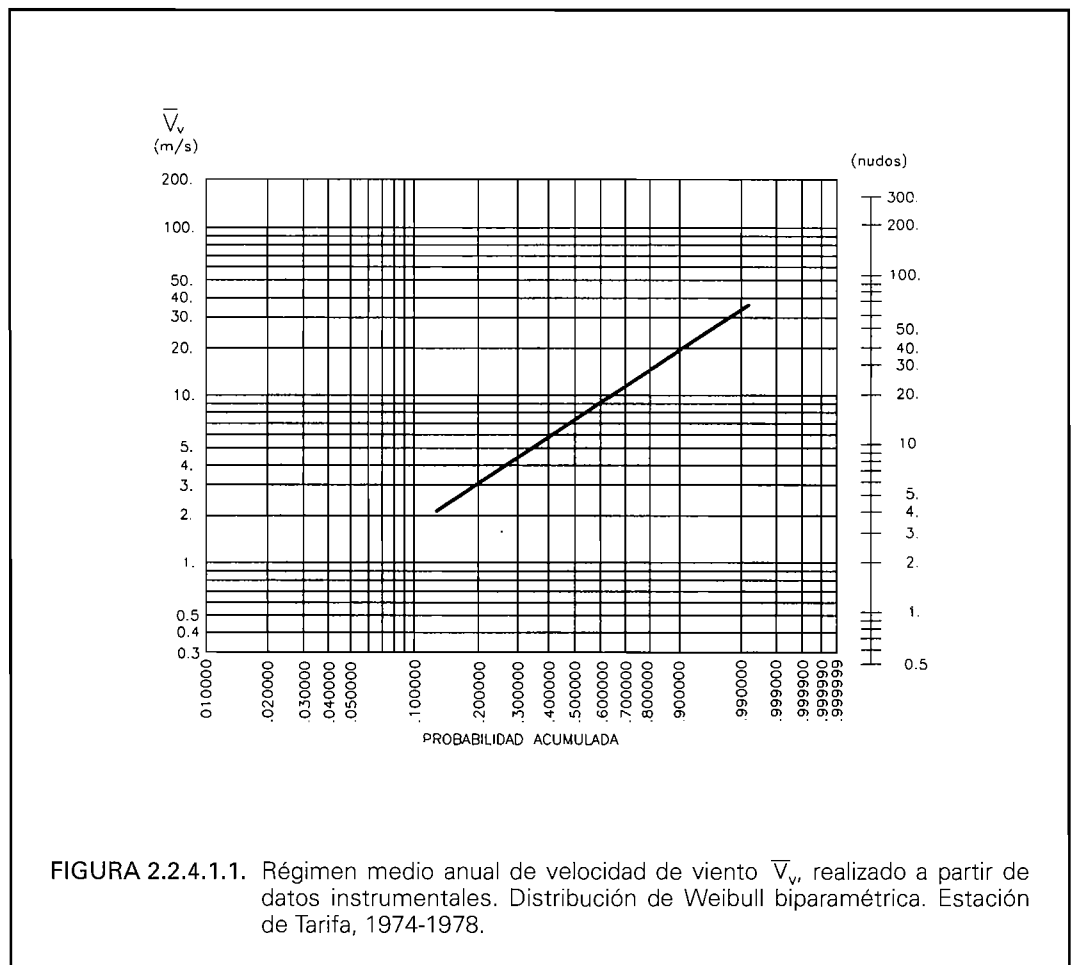


FIGURA 2.2.4.1.1. Régimen medio anual de velocidad de viento  $\bar{V}_v$ , realizado a partir de datos instrumentales. Distribución de Weibull biparamétrica. Estación de Tarifa, 1974-1978.

máxima asociada a diversos intervalos de medición, o estimada a partir de observaciones desde buques en ruta). Esta función indica la probabilidad de que una velocidad del viento represente el máximo Estado del Viento que se presente, en un periodo de tiempo, en una zona determinada.

Si tenemos en cuenta la componente direccional del viento podemos obtener regímenes extremales direccionales, relacionando los valores máximos previsible de la variable velocidad del viento en cada sector direccional con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en un periodo de tiempo prefijado. En zonas abiertas de características superficiales homogéneas en todas las direcciones, cuando los datos de partida no estén diferenciados por direcciones, y no haya posibilidades de diferenciación mediante su correlación estadística con otro tipo de datos, se podrá considerar que la variable velocidad del viento está uniformemente distribuida en todas las direcciones, admitiéndose que el régimen extremal direccional de la velocidad del viento correspondiente a cualquier sector direccional puede obtenerse estimativamente a partir del régimen extremal escalar correspondiente, sin más que desplazar horizontalmente este régimen, asignando a cada valor de la variable un nuevo periodo de retorno resultado de multiplicar por 2.5 el que le corresponde en el régimen extremal escalar. Generalmente este método está del lado de la seguridad, cubriendo la existencia de direcciones dominantes en la zona considerada.

La estadística correspondiente al régimen extremal del viento podrá aplicarse tanto a datos instrumentales o procedentes de observaciones desde buques en ruta, como a datos obtenidos de estimas de campos de viento a partir de cartas meteorológicas. No obstante, siempre que sea posible se obtendrá preferentemente a partir de datos instrumentales. Dada la calidad y características de los datos procedentes de observaciones desde buques en ruta (Ver apartado 2.2.2.2), los regímenes extremales obtenidos a partir de este tipo de datos se considerarán sólo como indicativos, debiendo contrastarse con los obtenidos con otro tipo de datos con objeto de valorar su fiabilidad.

La fiabilidad del análisis extremal mejorará al aumentar el número de años con medidas utilizado. Sin perjuicio de otros métodos de análisis extremal (*Ver ROM 0.3. Oleaje*), y siempre que exista información disponible de viento correspondiente a periodos superiores a 20 años, puede considerarse suficientemente fiable la obtención de regímenes extremales de viento mediante la aplicación de metodologías desarrolladas tomando como datos muestrales los valores Máximos Anuales registrados u observados.

Puesto que no existe una metodología numérica que permita derivar teóricamente a partir de dichos valores la distribución estadística de los valores extremos, la elección de dicha función de distribución implica analizar una serie de distribuciones teóricas con el objeto de seleccionar aquella que mejor ajuste la muestra analizada. La estima de los parámetros de la distribución ensayada puede realizarse por cualquiera de los métodos estadísticos de ajuste mencionados en el apartado 2.2.4.1. Regímenes Medios. <sup>27)</sup>

Sin perjuicio de otras, para la determinación de regímenes extremales de la variable velocidad del viento podrán considerarse prioritariamente las siguientes funciones de distribución de extremos:

- Gumbel (*Asíntota I del mayor valor o Fisher-Tipett I*)

$$P(x) = e^{-e^{-\frac{(x-A)}{B}}} \quad -\infty < x < \infty \quad [2.2.10]$$

- Weibull (*Asíntota III del menor valor con C fijo = 0.75, 1.0, 1.4 y 2.0*)

$$P(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-A}{B}\right)^C} \quad A \leq x < \infty \quad [2.2.11]$$

- Frechet o Fisher Tipett II (*C fijo = 2.5, 3.33, 5.0, 10.0*)

$$P(x) = e^{-\left[1 + \frac{(x-A)}{BC}\right]^{-C}} \quad A-BC \leq x < \infty \quad [2.2.12]$$

donde los parámetros A, B y C son parámetros de posición, escala y forma respectivamente.

Si el método de ajuste utilizado es el de los mínimos cuadrados, la muestra representativa podrá obtenerse de la siguiente forma:

- Ordenar la muestra de máximos anuales de velocidad del viento en sentido decreciente.
- Asignar a cada velocidad del viento un número de orden  $n_i$  a partir del mayor valor.
- Calcular la probabilidad de presentación o de no excedencia  $P(V_v \leq V_{v0})$  teórica asociada a cada valor de la muestra extremal mediante formulaciones del tipo:

$$P(V_{v0}) = 1 - \left(\frac{n_i - \alpha}{n + \beta}\right) \quad [2.2.13]$$

siendo  $n_i$  el número de orden,  $n$  el número total de datos, y  $\alpha$  y  $\beta$  parámetros función de la distribución extremal considerada. Podrán utilizarse los siguientes parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ :

DISTRIBUCION	$\alpha$	$\beta$
GUMBEL	0.44	0.12
WEIBULL	$0.20 + 27/\sqrt{C}$	$0.20 + 0.23/\sqrt{C}$
FT-II	$0.44 + 0.52/C$	$0.12 - 0.11/C$

donde C es el parámetro de forma de la distribución.

Al contrario que el análisis estadístico en condiciones medias, el análisis estadístico de muestras extremas está sometido a una gran incertidumbre debido fundamentalmente al número limitado de datos muestrales disponibles frente a los periodos a los que se extrapola. Por este motivo la elección de la distribución final de mejor ajuste requiere la aplicación de distintas pruebas de bondad de ajuste y criterios de rechazo, así como la determinación del error asociado al valor de retorno de cálculo.

Existen varias metodologías que permiten la valoración de la bondad del ajuste. Una de las más completas es la desarrollada por Goda (1990) <sup>28)</sup>. Esta metodología incluye para las nueve funciones de distribución de extremos recomendadas correspondientes a las familias de Gumbel, Weibull y Frechet, unos coeficientes empíricos, función de las características de la muestra analizada (*tamaño muestral fundamentalmente*), que permiten seleccionar la distribución de mejor ajuste. El método también proporciona los coeficientes necesarios para estimar el error asociado a cada valor de retorno, facilitando el establecimiento de límites a ambos lados de la curva de ajuste asociados a determinados niveles de confianza (*banda de confianza*). Los niveles de confianza definen la probabilidad de que la población esté incluida en la banda de confianza correspondiente. Puede considerarse que la función de distribución estimada representa la media de todos los datos poblacionales. (*Ver ejemplo de la figura 2.2.4.2.1*).

Los regímenes extremos se representan en un gráfico cartesiano cuyas ordenadas se corresponden con la velocidad del viento, y cuyas abscisas son las probabilidades de no excedencia de los valores extremos de dicha variable, o preferentemente los periodos de retorno dada la correlación entre éstos y la distribución extremal. La representación gráfica puede realizarse en ejes que tengan escala lineal o en ejes con escala distorsionada de acuerdo con una función de distribución estadística (*papel probabilístico*). Si el régimen extremal se ajusta a la función de distribución correspondiente al papel probabilístico utilizado, la representación del mismo resultará ser una recta. Los papeles probabilísticos correspondientes a las funciones más utilizadas en el análisis extremal del viento se incluyen en las tablas 2.2.4.2.1. a 2.2.4.2.3. Cuando se calculan, la representación gráfica del régimen extremal incluirá los límites de las bandas de confianza asociados a uno o varios niveles de confianza. (*Ver ejemplo de la figura 2.2.4.2.1*)

El conocimiento de los regímenes extremos de la velocidad del viento es fundamental para el proyecto de estructuras marítimas y portuarias al permitir obtener los valores representativos de las acciones debidas al viento, tanto para fase de servicio como para fase de construcción, cuando se definan a partir de los valores extremos de la variable velocidad del viento correspondientes a periodos de retorno asociados a una determinada probabilidad de presentación o riesgo (E) durante el periodo asignado a cada una de las fases de proyecto (*Ver ROM 0.2. Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias, y Parte 3 de esta Recomendación*). Asimismo, el conocimiento de los regímenes extremos de viento permitirá en algunos casos (*p.e. en rías, dársenas, ...*) estimar los valores extremos de otras variables físicas dependientes del viento como el oleaje local de viento (*oleaje tipo Sea*), y además posibilitará la obtención del oleaje de viento de actuación simultánea compatible con el viento de cálculo.

## 2.2.5. ANALISIS DE PERSISTENCIAS

La persistencia del viento puede definirse como la función de probabilidad que determina el tiempo durante el cual la velocidad del viento (*media, máxima asociada a diversos intervalos de medición, o estimada a partir de observaciones desde buques en ruta*), permanece de forma continuada por debajo o por encima de un cierto umbral. Normalmente, la persistencia se presenta en términos de probabilidad de excedencia de las duraciones en un cierto periodo de tiempo, para excedencias o no excedencias de una serie de niveles umbral de velocidad del viento ( $V_{vd}$ ). (*Ver figura 2.2.5.2*). Generalmente suelen considerarse persistencias anuales, aunque también pueden considerarse periodos mensuales, estacionales, semestrales o de cualquier otra duración.

La persistencia del viento definida se corresponde con un concepto escalar de la misma. Para la definición de persistencias direccionales asociadas a diferentes sectores direccionales deberá tomarse en consideración que la quiebra de la persistencia puede ser debida tanto a la caída de la velocidad del viento por debajo del nivel umbral como al cambio

(28) La descripción detallada de algunos métodos para la valoración de la bondad de los ajustes, y especialmente el de Goda (1990), se incluyen en la ROM 0.3. Acciones Climáticas I: Oleaje

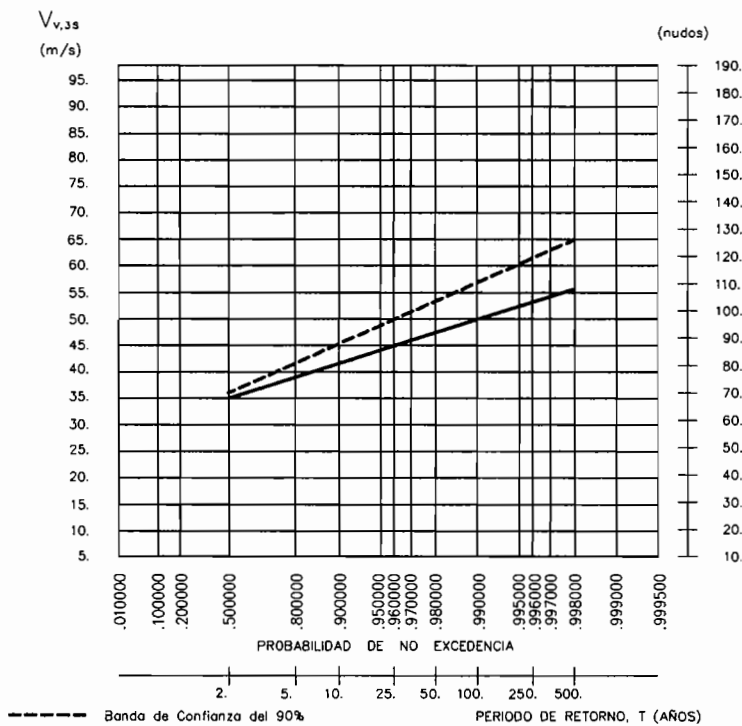


FIGURA 2.2.4.2.1. Régimen extremal escalar instrumental de velocidad de viento  $V_{v,3s}$ . Distribución de Gumbel. Estación de Tarifa, 1975-1990.

de dirección de la misma fuera del sector direccional considerado. Por tanto, para incluir efectos direccionales en la persistencia será necesario partir de modelos de distribución conjunta velocidad del viento/dirección. En la actualidad no existe una definición estándar del concepto de persistencia para un modelo de distribución conjunta velocidad del viento/dirección.

La estima de las persistencias escalares tanto de las excedencias como de las no excedencias de un nivel umbral de velocidad de viento, se realizará preferentemente a partir de las Curvas de Estado de Viento correspondientes al parámetro de velocidad del viento considerado, obtenidas de registros instrumentales puntuales y continuos, muestrados a intervalos regulares de tiempo durante, al menos, tres años. Las Curvas de Estado de Viento permiten definir los principios y el significado físico de la persistencia en términos de duración y número de ocurrencias (Ver figura 2.2.5.1).

A partir de las curvas de Estado de Viento, la persistencia estadística de las excedencias de  $V_{v0}$ ,  $Q(\tau)_{\geq V_{v0}}$ , puede ser obtenida como porcentaje del número de ocurrencias de duración  $\geq \tau$  en el tiempo considerado. Es decir:

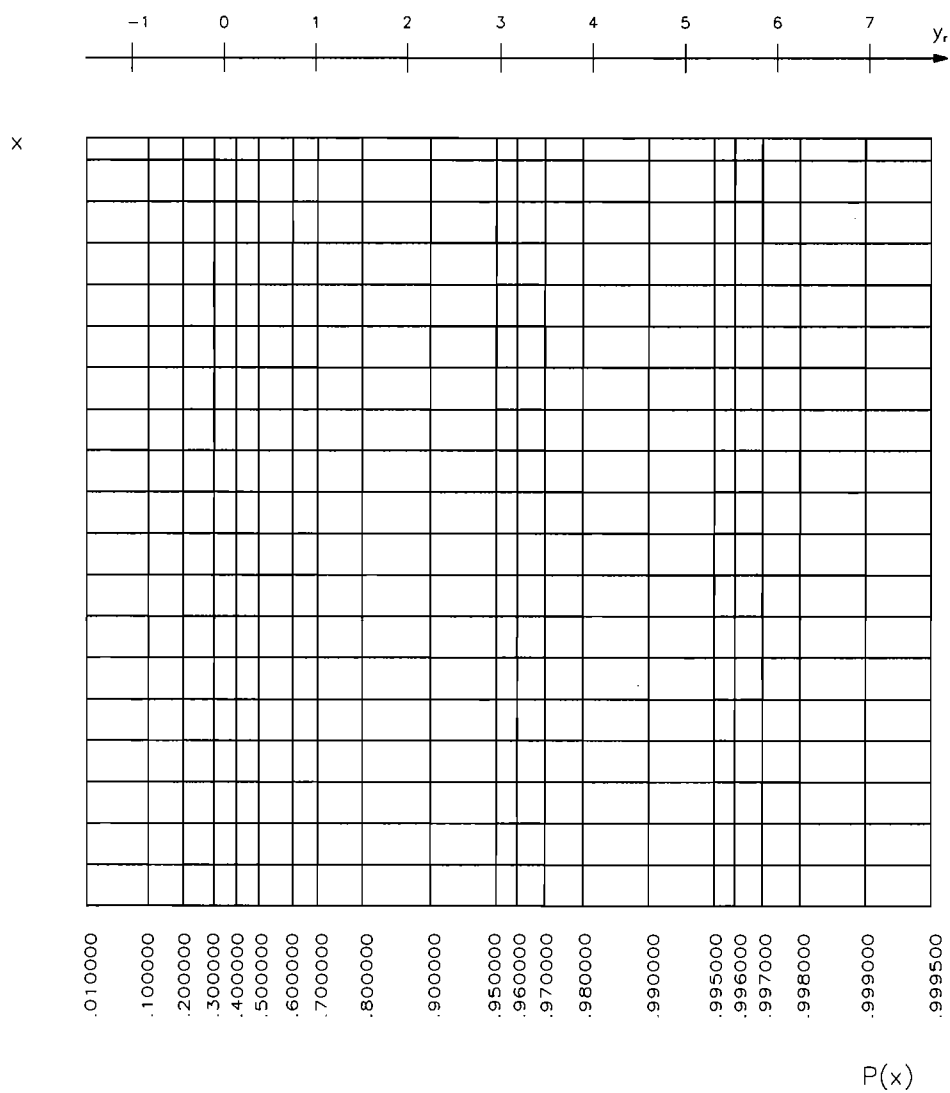
$$Q(\tau)_{\geq V_{v0}} = \frac{N(\tau)_{\geq V_{v0}}}{N} \quad [2.2.14]$$

siendo:

$N(\tau)_{\geq V_{v0}}$ : Número de ocurrencias de las excedencias del valor umbral  $V_{v0}$  de duración  $\geq \tau$ , en el tiempo considerado.

N: Número total de ocurrencias (tanto de las excedencias como de las no excedencias del valor umbral  $V_{v0}$ ) en el tiempo considerado.

TABLA 2.2.4.2.1. PAPEL PROBABILISTICO CORRESPONDIENTE A LA DISTRIBUCION DE GUMBEL



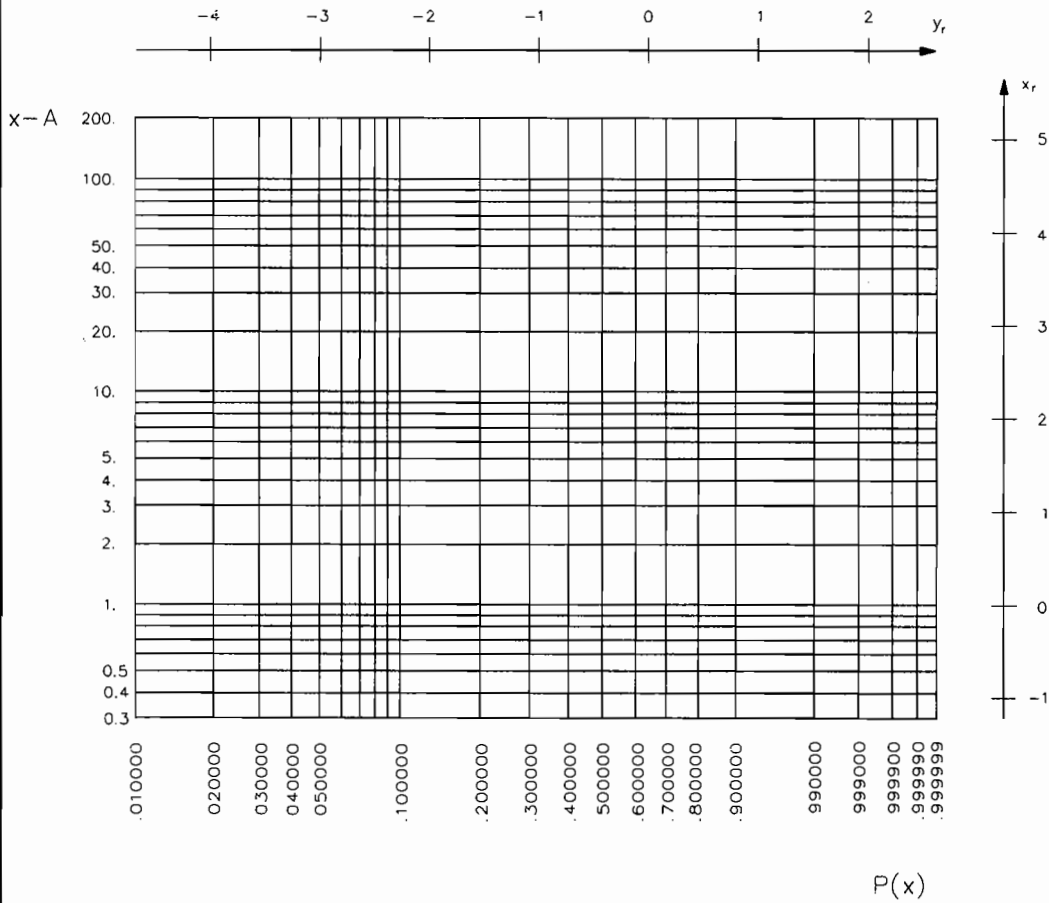
VARIABLES REDUCIDAS

$y_r = -\ln[-\ln P(x)]$   
 $x_r = x$

RECTA DE AJUSTE EN TERMINOS DE VARIABLE REDUCIDA

$x_r = B \cdot y_r + A$

TABLA 2.2.4.2. PAPEL PROBABILISTICO CORRESPONDIENTE A LA DISTRIBUCION DE WEIBULL



VARIABLES REDUCIDAS

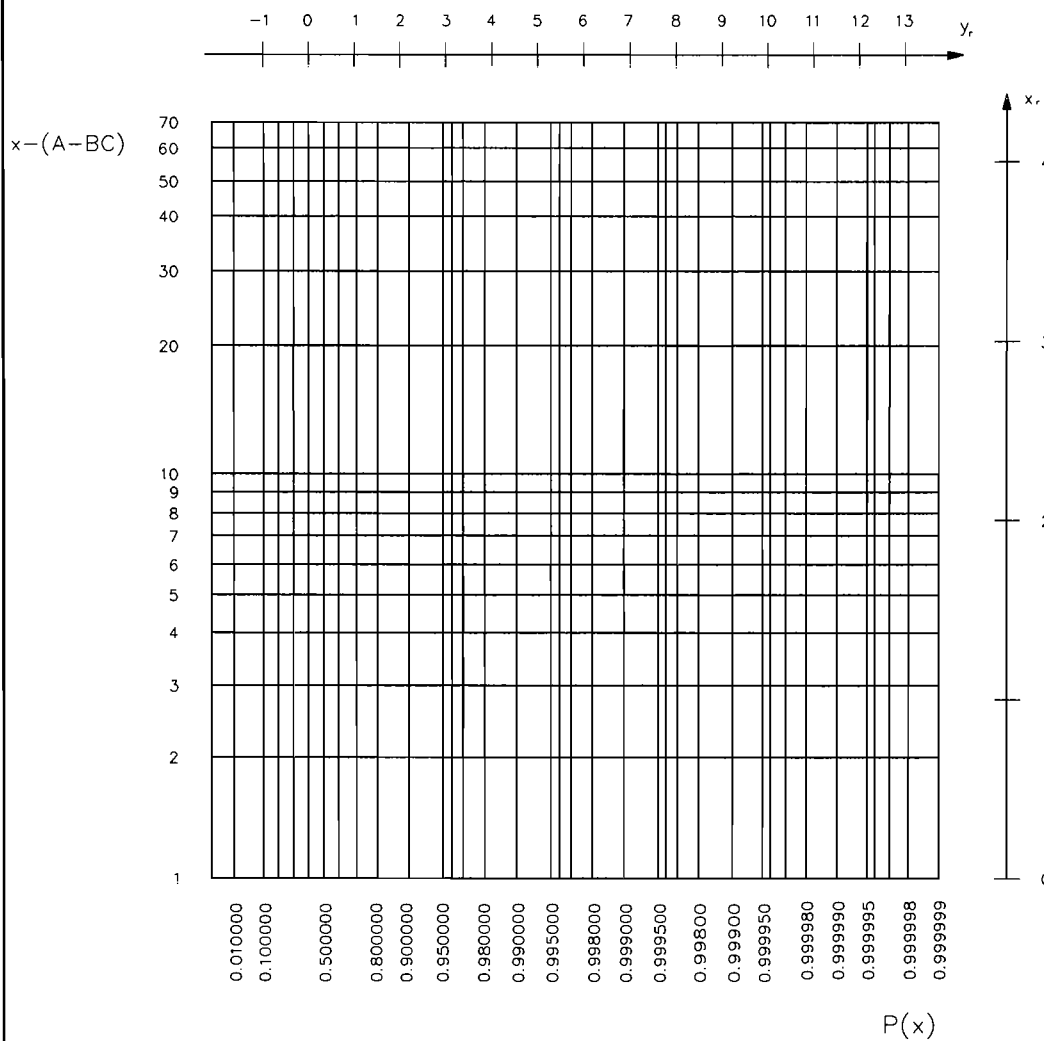
$$y_r = \ln[-\ln(1-P(x))]$$

$$x_r = \ln(x-A)$$

RECTA DE AJUSTE EN TERMINOS DE VARIABLE REDUCIDA

$$y_r = C \cdot x_r - C \cdot \ln B$$

TABLA 2.2.4.2.3. PAPEL PROBABILISTICO CORRESPONDIENTE A LA DISTRIBUCION DE FISHER TIPETT II



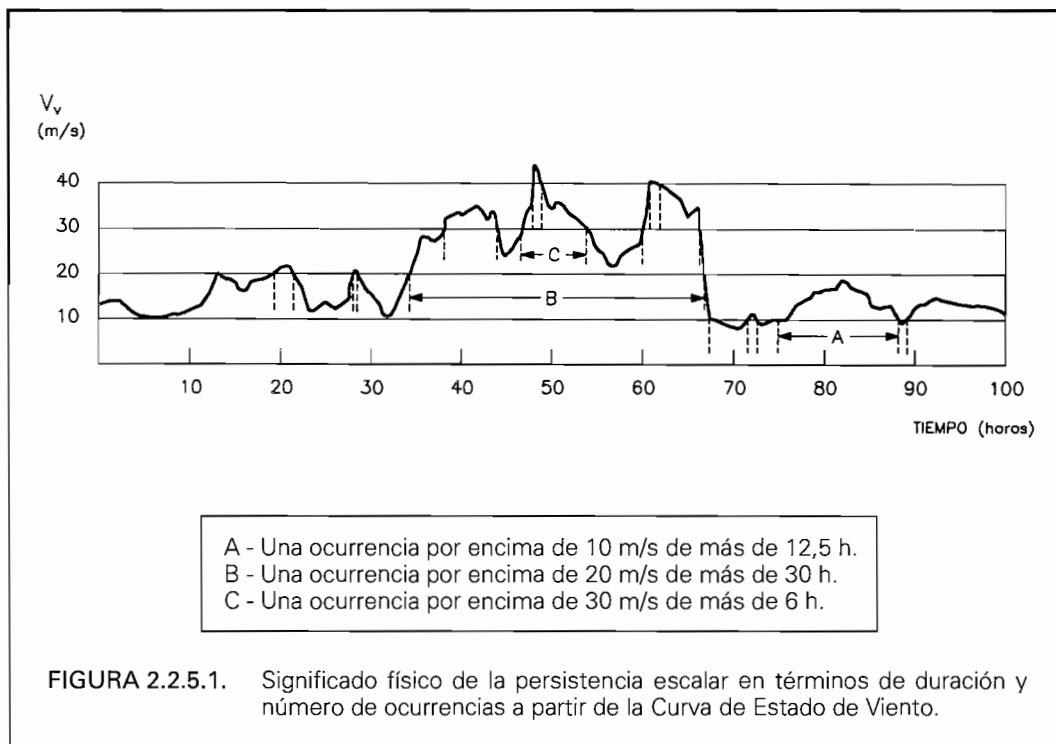
VARIABLES REDUCIDAS

$$y_r = -\ln[-\ln P(x)]$$

$$x_r = \ln [x-(A-BC)]$$

RECTA DE AJUSTE EN TERMINOS DE VARIABLE REDUCIDA

$$y_r = C \cdot x_r - C \cdot \ln [BC]$$



Del mismo modo podrá obtenerse la persistencia estadística de las no excedencias de  $V_{v0}$ , tomando  $N(\tau)$  como el número de ocurrencias de las no excedencias del valor umbral considerado de duración  $\geq \tau$ .

Cuando no se disponga de datos instrumentales continuos, el cálculo de la persistencia estadística podrá realizarse por medio de modelos paramétricos aproximados que permiten estimar las persistencias del viento a partir de la distribución acumulada de las excedencias de la velocidad del viento  $P(V_v \geq V_{v0})$ . Por tanto, el cálculo de persistencias a partir de datos procedentes de observaciones desde buques en ruta únicamente puede realizarse a partir de estos modelos.

Uno de los modelos paramétricos de cálculo de persistencias es el denominado método NMI (Graham, 1982; modificado por Kuwashima y Hogben en 1986), consistente en:

- Como dato de partida se tomará la distribución acumulada de excedencias de la velocidad del viento  $[P(V_v \geq V_{v0})]$ , definida en términos de la distribución del tipo Weibull biparamétrica:

$$P(V_v) = e^{-\left(\frac{V_v}{B}\right)^C} \quad [2.2.15]$$

siendo B y C los parámetros de escala y forma respectivamente. Esta función puede obtenerse a partir del histograma de la variable velocidad del viento mediante un procedimiento similar al utilizado para la estimación y ajuste de los regímenes medios del viento (ver apartado 2.2.4.1).

- El modelo asume que la duración media de la persistencia de las excedencias ( $\bar{\tau}_g$ ) y de las no excedencias ( $\bar{\tau}_1$ ) están relacionadas con la distribución acumulada de excedencias de la velocidad del viento  $[P(V_v)]$  de la forma:

$$\bar{\tau}_g = \frac{A}{[-\ln P(V_v)]^\beta} \quad [2.2.16]$$

$$\bar{\tau}_1 = \bar{\tau}_g \cdot \frac{[1 - P(V_v)]}{P(V_v)} \quad [2.2.17]$$



siendo los parámetros A y  $\beta$  función del parámetro C de la distribución acumulada de partida, tomando los siguientes valores:

$$A = 18.3/C^{0.647}$$

$$\beta = 0.72$$

- Las distribuciones acumuladas de la duración de las excedencias o no excedencias ( $\tau$ ) para cualquier nivel de la velocidad del viento se representan por distribuciones del tipo Weibull biparamétrica, cuyas expresiones en términos de duración normalizada ( $x = \tau/\bar{\tau}$ ) son respectivamente:

$$Q_g(x_g)_{\geq v_0} = e^{-C_g(x_g)^{\alpha_g}} \quad [2.2.18]$$

$$Q_1(x_1)_{< v_0} = e^{-C_1(x_1)^{\alpha_1}} \quad [2.2.19]$$

donde el subíndice g se refiere a excedencias del nivel umbral  $V_{v0}$  y el subíndice 1 a no excedencias de dicho nivel, y siendo:

$$x_g = \frac{\tau}{\bar{\tau}_g} \quad [2.2.20] \quad x_1 = \frac{\tau}{\bar{\tau}_1} \quad [2.2.21]$$

$$C_g = \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\alpha_g} \right) \right]^{\alpha_g} \quad [2.2.22] \quad C_1 = \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\alpha_1} \right) \right]^{\alpha_1} \quad [2.2.23]$$

$$\alpha_g = 0.286 C \left[ \frac{V_{v0}}{(\bar{V}_v)} \right]^{0.4} \quad [2.2.24] \quad \alpha_1 = 0.286 C \left[ \frac{V_{v0}}{(\bar{V}_v)} \right]^{-0.4} \quad [2.2.25]$$

donde  $(\bar{V}_v)$  es el valor medio de todas las velocidades de viento en la distribución; es decir el valor medio de la población, no de la muestra <sup>29)</sup>.

Las distribuciones Q pueden ser transformadas directamente en número de ocurrencias de una duración determinada multiplicándolas por N, siendo N el número total de ocurrencias (*tanto de las excedencias como de las no excedencias del valor umbral*) en el tiempo considerado.

Se recomienda representar las persistencias estadísticas en el papel probabilístico correspondiente a la función de Weibull biparamétrica, situando en ordenadas a la probabilidad de excedencia de las duraciones, y en abscisas a la duración en horas. El papel probabilístico correspondiente a la función de Weibull biparamétrica se incluye en la tabla 2.2.4.1.1. (*Ver ejemplo de la figura 2.2.5.2*)

El conocimiento de las persistencias del viento es fundamental en ingeniería marítima y portuaria principalmente para la definición de las condiciones de explotación y de los niveles de operatividad de las instalaciones portuarias, de las instalaciones en mar abierto, y de las de manipulación y transporte de mercancías; así como de las condiciones de navegabilidad y de maniobrabilidad de los buques en canales de acceso, dársenas y demás áreas de flotación. También es importante para la planificación de la duración de las fases de construcción, el análisis medioambiental de dispersión de contaminantes o de productos de dragado, y en general para la ingeniería de costas. Asimismo, el análisis de persistencias tiene una importante aplicación para la evaluación de otras variables físicas dependientes del viento, como el oleaje de viento (*oleaje Sea*), por medio de modelos teórico-empíricos de previsión.

(29)  $(\bar{V}_v) = B \cdot \Gamma \left[ 1 + \frac{1}{C} \right]$ , siendo B y C los parámetros de escala y forma de la distribución de ajuste de la muestra.

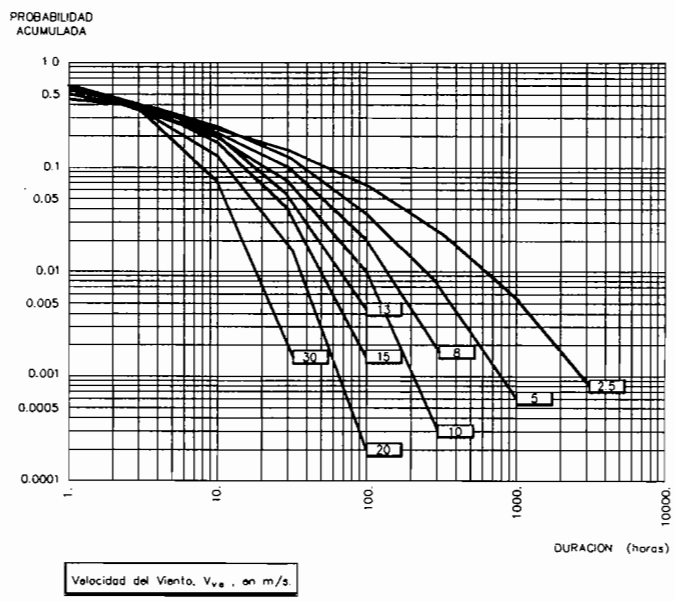


FIGURA 2.2.5.2. Estimaciones de la persistencia del viento para excedencias de diferentes niveles umbral de la velocidad del viento, a partir de datos procedentes de observaciones desde buques en ruta. Zona Suratlántica (Area IV).

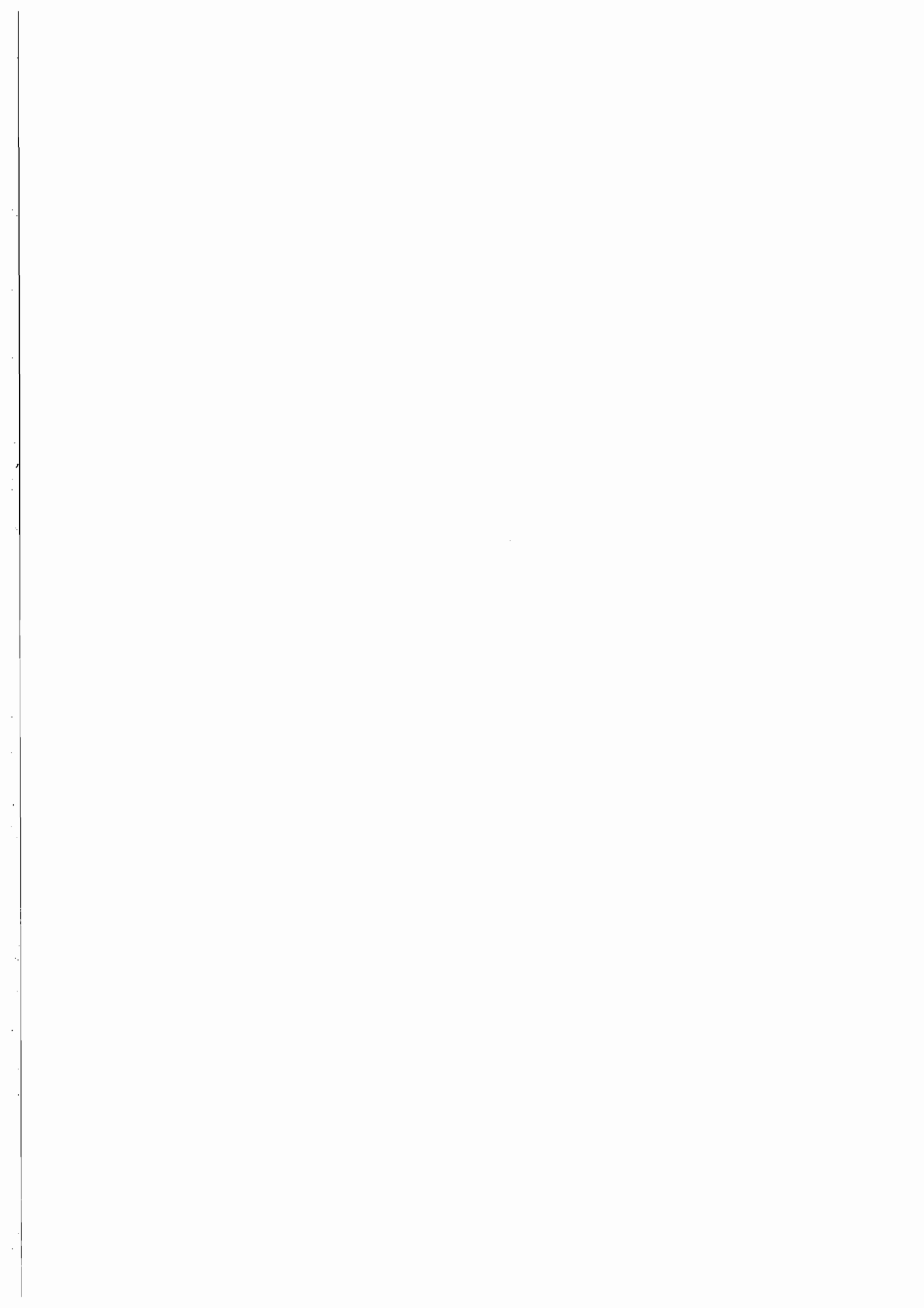
## **PARTE 3**

## **CARGAS DE VIENTO**

---

3.3.3. DEFINICION NUMERICA DE LA ACCION DINAMICA PRODUCIDA POR LAS FLUCTUACIONES DE LA PRESION DEL VIENTO INCIDENTE.....	154
3.3.3.1. TRATAMIENTO EN EL DOMINIO DEL TIEMPO .....	154
3.3.3.2. TRATAMIENTO EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA.....	155
3.3.3.3. FUERZAS ESTATICAS EQUIVALENTES .....	156
3.3.4. DEFINICION NUMERICA DE LA ACCION DINAMICA PRODUCIDA POR LAS FLUCTUACIONES DE PRESION ORIGINADAS POR LA FORMACION DE REMOLINOS EN LA ESTELA GENERADA POR LA INTERPOSICION DE UNA ESTRUCTURA AL FLUJO DE VIENTO INCIDENTE .....	157
3.3.4.1. DESCRIPCION DEL FENOMENO .....	157
3.3.4.2. FUERZAS ESTATICAS EQUIVALENTES .....	160
3.3.5. ANALISIS DE FATIGA .....	162

3.2.1.4.1.	Factor de conversión de la velocidad del viento para periodos de retorno diferentes a 50 años .....	104
3.2.2.1.1.	Presiones del viento sobre elementos superficiales en diversas situaciones.....	110
3.2.2.3.1.	Esquema general de fuerzas de presión producidas por el viento sobre una estructura.....	125
3.2.2.3.2.	Fuerzas de Rozamiento o Arrastre en estructuras alargadas de planta rectangular .....	126
3.2.2.8.1.	Esquema de las fuerzas de arrastre producidas por el viento sobre un buque .....	142
3.2.2.8.2.	Esquema de las fuerzas de arrastre producidas por el viento sobre una estructura flotante prismática.....	145
3.2.2.8.3.	Esquema de las fuerzas de arrastre producidas por el viento sobre una estructura flotante de simetría radial .....	145
3.3.1.1.	Comparación de la densidad espectral de potencia reducida tipo correspondiente a la componente longitudinal de la velocidad de fluctuación del viento con las frecuencias naturales de oscilación usuales en algunas estructuras tipificadas .....	147
3.3.2.1.	Modelos estructurales con uno (a) o varios (b) grados de libertad para cálculo dinámico .....	151
3.3.4.1.1.	Esquemización del fenómeno de los remolinos de Von Karman .....	159



3.2.1.2.1.	Intervalo de medición o duración de ráfaga a considerar para la determinación de la velocidad del viento de proyecto en función del tipo estructural analizado .....	99
3.2.1.2.2.	Velocidades de viento límite de operatividad usuales en instalaciones y estructuras portuarias no considerando diferenciación direccional.....	100
3.2.1.4.1.	Velocidad básica escalar del viento en el litoral español, asociada a un periodo de retorno de 50 años [ $V_b _{50 \text{ años}}$ ], (en m/s) .....	103
3.2.1.4.2.	Velocidad básica escalar del viento en el litoral español para la determinación del valor frecuente de la acción del viento [ $V_b _{0.95}$ ], (en m/s).....	106
3.2.1.5.1.	Coefficientes de seguridad para la obtención de los valores de cálculo de la acción del viento aplicables en la comprobación de Estados Límites Últimos.....	108
3.2.2.1.1.	Presión Dinámica del viento asociada a una velocidad de viento dada.....	109
3.2.2.2.1.	Coefficientes eólicos de presión exterior, $C_{pe}$ , para paredes laterales de construcciones de planta rectangular .....	112
3.2.2.2.2.	Coefficientes eólicos de presión exterior, $C_{pe}$ , para cubiertas a dos aguas de construcciones de planta rectangular .....	113
3.2.2.2.3.	Coefficientes eólicos de presión exterior, $C_{pe}$ , para cubiertas a un agua de construcciones de planta rectangular.....	114
3.2.2.2.4.	Coefficientes eólicos de presión exterior, $C_{pe}$ , para cubiertas planas de construcciones de planta rectangular .....	115
3.2.2.2.5.	Coefficientes eólicos de presión exterior, $C_{pe}$ , para cubiertas cilíndricas con directriz circular, elíptica o parabólica, de construcciones de planta rectangular .....	116
3.2.2.2.6.	Coefficientes eólicos de presión exterior, $C_{pe}$ , para cubiertas múltiples a dos aguas de construcciones de planta rectangular ( <i>todos los vanos iguales</i> ).....	117
3.2.2.2.7.	Coefficientes eólicos de presión exterior, $C_{pe}$ , para cubiertas múltiples en dientes de sierra de construcciones de planta rectangular ( <i>todos los vanos iguales</i> ).....	118
3.2.2.2.8.	Coefficientes eólicos de presión netos, $C_{p,netr}$ , para cubiertas aisladas a dos aguas en construcciones sin paredes laterales permanentes.....	119
3.2.2.2.9.	Coefficientes eólicos de presión netos, $C_{p,netr}$ , para cubiertas aisladas a un agua en construcciones sin paredes laterales permanentes .....	120

3.2.2.2.10.	Coeficientes eólicos de presión netos, $C_{p,net}$ , para cubiertas aisladas múltiples a dos aguas en construcciones sin paredes laterales permanentes ( <i>todas las crujías iguales</i> ) .....	121
3.2.2.2.11.	Coeficientes eólicos de presión exterior, $C_{pe}$ , para paredes laterales en construcciones de planta en L, T e Y .....	121
3.2.2.2.12.	Coeficientes eólicos de presión interior, $C_{pi}$ , en construcciones no estancas de planta rectangular no compartimentadas interiormente .....	122
3.2.2.2.13.	Coeficientes eólicos de presión exterior, $C_{pe}$ , para construcciones cilíndricas ( <i>para viento actuando perpendicularmente al eje del cilindro</i> ) .....	123
3.2.2.3.1.	Coeficientes eólicos de rozamiento o arrastre para estructuras planas de planta rectangular .....	127
3.2.2.3.2.	Coeficientes eólicos de fuerza, $C_f$ , para construcciones macizas prismáticas de sección rectangular uniforme y eje vertical ( <i>viento actuando en la dirección de los ejes principales</i> ) .....	128
3.2.2.3.3.	Coeficientes eólicos de fuerza, $C_f$ , para diversas construcciones macizas prismáticas de sección uniforme y eje vertical .....	129
3.2.2.3.4.	Coeficientes eólicos de fuerza ( $C_{fx}$ y $C_{fy}$ ) para elementos estructurales de caras planas y esbeltez infinita ( $\lambda=\infty$ ) ( <i>viento actuando perpendicularmente al eje longitudinal del elemento estructural</i> ) .....	131
3.2.2.3.5.	Coeficientes eólicos de fuerza, $C_f$ , para elementos estructurales de sección circular y esbeltez infinita ( $\lambda=\infty$ ), de superficie lisa o débilmente rugosa ( <i>viento actuando perpendicularmente al eje longitudinal del elemento estructural</i> ) .....	132
3.2.2.3.6.	Coeficientes eólicos de fuerza, $C_f$ , para tirantes, cables y cabos de esbeltez infinita ( $\lambda=\infty$ ) ( <i>viento actuando perpendicularmente al plano longitudinal del elemento</i> ) .....	133
3.2.2.3.7.	Coeficientes eólicos de fuerza ( $C_{fx}$ ) para superestructuras de pantanes, plataformas, puentes y duques de alba sobre pilas o pilotes de esbeltez infinita ( $\lambda=l/b=\infty$ ) ( <i>viento actuando perpendicularmente al eje longitudinal de la superestructura</i> ) .....	134
3.2.2.4.1.	Coeficientes eólicos de fuerza efectivos para considerar el efecto de opacidad al viento en construcciones formadas por elementos estructurales individuales situados en un plano normal a la dirección del viento .....	136
3.2.2.5.1.	Factor de sombra, $\eta$ , en construcciones formadas por elementos estructurales situados en diferentes planos en la dirección de actuación del viento .....	138
3.2.2.6.1.	Coeficientes eólicos de fuerza efectivos correspondientes a estructuras reticuladas en forma de torre de sección uniforme cuadrada o triangular equilátera, constituidas por elementos estructurales de superficies planas .....	139
3.2.2.6.2.	Coeficientes eólicos de fuerza efectivos correspondientes a estructuras reticuladas en forma de torre de sección uniforme cuadrada, constituidas por elementos estructurales de sección circular .....	139
3.2.2.6.3.	Coeficientes eólicos de fuerza efectivos correspondientes a estructuras reticuladas en forma de torre de sección uniforme triangular equilátera, constituidas por elementos estructurales de sección circular .....	140



3.2.2.8.1.	Valores del coeficiente de excentricidad ( $K_e$ ) para la determinación del punto de aplicación de la fuerza total de arrastre resultante de la acción del viento sobre un buque .....	144
3.3.1.1.	Frecuencias propias correspondientes al modo fundamental a flexión de estructuras tipo que presentan un plano de simetría vertical en la dirección de actuación del viento ( <i>construcciones verticales y horizontales</i> ).....	148
3.3.1.2.	Masa añadida que valora el efecto inercial del agua externa movilizada por una estructura sumergida prismática de sección uniforme, en función de la dirección de la oscilación .....	150
3.3.2.1.	Valores tipificados de la fracción de amortiguamiento crítico ( $\zeta$ ).....	153
3.3.3.3.1.	Abacos para la obtención de los parámetros $r$ , $A$ , $J$ y $S$ de la fórmula de Vickery (1971) para la determinación del factor dinámico $\psi_d$ en estructuras verticales, no sumergidas parcialmente, con área frontal efectiva rectangular .....	158
3.3.4.1.1.	Número de Strouhal para diferentes secciones transversales .....	160
3.3.4.2.1.	Abacos para la obtención de los parámetros incluidos en la fórmula de la presión estática equivalente para el cálculo de los efectos dinámicos producidos por los remolinos de Von Karman .....	162



**3.1. DEFINICION DE CARGA DE VIENTO ( $Q_{M4}$ )**

Se define como Carga de Viento ( $Q_{M4}$ ) aquella carga de naturaleza variable producida por la actuación directa del viento sobre la estructura resistente o sobre elementos no estructurales que incidan sobre ella, independientemente de que se considere su actuación directamente para el cálculo estructural o como acción exterior para la determinación de otras cargas variables o accidentales (p.e. *Sobrecargas de Equipos e Instalaciones de Manipulación de Mercancías  $Q_{V2}$ , o Sobrecargas de Operaciones de Buques  $Q_{V5}$* ).

La incidencia de la acción del viento en la valoración de dichas cargas variables o accidentales y las condiciones de actuación aplicables se analizan en los apartados correspondientes a dichas cargas en la ROM 0.2, teniendo en cuenta las hipótesis de combinación de acciones consignadas en la misma Recomendación.

A todos los efectos de la ROM 0.2-90. ACCIONES EN EL PROYECTO DE OBRAS MARITIMAS Y PORTUARIAS, la carga de viento se considera una acción variable medioambiental o climática ( $Q_M$ ).

**3.2. DETERMINACION DE LA ACCION****3.2.1. CRITERIOS DE VALORACION DE LA ACCION DEL VIENTO****3.2.1.1. CRITERIOS GENERALES**

La acción del viento, a pesar de tener el carácter de carga dinámica frecuencial<sup>(30)</sup>, podrá asimilarse en la mayor parte de los casos a una carga estática horizontal determinada según los criterios que se exponen en este apartado.

Para aquellos casos en que la respuesta dinámica de la estructura se prevea apreciable, o cuando se trate de estructuras con formas complejas en las que el viento es la carga preponderante, el comportamiento real de las mismas puede diferir notablemente del previsto en el análisis estático. En estos casos, para la determinación de las cargas de viento y sus efectos sobre las estructuras será necesario utilizar métodos específicos de análisis dinámico o estudios experimentales en túnel de viento, introduciendo el viento a partir de su definición en el dominio del tiempo o de la frecuencia<sup>(31)</sup>.

Los valores representativos de la Carga de Viento se obtendrán a partir de la determinación del Estado de Viento de Proyecto en la localización geográfica considerada, para cada una de las fases de proyecto e hipótesis de trabajo.

El Estado de Viento de Proyecto quedará definido por los parámetros velocidad del viento y dirección. Se determinará a partir del análisis estadístico unidimensional de la variable velocidad del viento utilizada como representativa de un Estado de Viento (*media, máxima asociada a diversos intervalos de medición, o estimada a partir de observaciones desde buques en ruta<sup>(32)</sup>*), considerando la dirección de actuación, para dos tipos de situaciones:

(30) Ver Apartado 3.3. EFECTOS DINAMICOS de la ROM 0.2-90.- ACCIONES EN EL PROYECTO DE OBRAS MARITIMAS Y PORTUARIAS.

(31) Ver Apartados 3.3. EFECTOS DINAMICOS, 2.1.2.2.1. DESCRIPCION ESTADISTICA DEL VIENTO y 2.1.2.2.2. DESCRIPCION ESPECTRAL DEL VIENTO.

(32) Ver Apartado 2.1. CARACTERIZACION DEL VIENTO EN PERIODOS DE CORTA DURACION.

- Regímenes Extremos (para obtener el valor característico y el valor de combinación de la acción en fases de Construcción y de Servicio, excepto en la hipótesis de Condiciones Normales de Operación).
- Regímenes Medios (para obtener los valores representativos de la acción en fase de Servicio en la hipótesis de Condiciones Normales de Operación, así como los valores frecuentes y cuasi-permanentes de la acción).

Los regímenes medios y extremos serán obtenidos preferentemente a partir de datos de velocidad de viento registrados en la zona geográfica considerada, o en su lugar observados desde buques en ruta o estimados a partir de cartas meteorológicas<sup>33)</sup>, y extrapolados a las condiciones físicas locales específicas del proyecto (*rugosidad superficial, altura, topografía local y ráfaga considerada en el cálculo*) por medio de los factores de velocidad de viento  $F^{34)}$ . Con objeto de facilitar su utilización práctica se recomienda, siempre que sea posible, obtener los regímenes correspondientes al parámetro Velocidad Básica del Viento o Velocidad de Referencia ( $V_b$ )<sup>35)</sup>.

Con objeto de valorar la fiabilidad de los resultados obtenidos, éstos deberán contrastarse con la información elaborada equivalente incluida en los diferentes Códigos Nacionales e Internacionales de Viento existentes o suministrada por Institutos Meteorológicos.

A falta de información local mejor, los resultados recogidos en el Atlas de Viento del Litoral Español, incluidos en el Anejo I de esta Recomendación, podrán utilizarse para la determinación de Vientos de Proyecto en su ámbito de aplicación.

### 3.2.1.2. VELOCIDAD DEL VIENTO DE PROYECTO

#### 3.2.1.2.1. VELOCIDAD DEL VIENTO DE PROYECTO EN CONDICIONES CLIMÁTICAS EXTREMAS

Se considera que una estructura o instalación está sometida a condiciones climáticas extremas cuando ésta debe paralizar o limitar su operatividad mientras subsistan acciones climáticas superiores a los límites de explotación. Esta condición está asociada a las más severas condiciones climáticas para las cuales debe estar diseñada la estructura. Por lo tanto, cuando una estructura o instalación no tiene limitadas sus condiciones de explotación se considerará que ésta es su condición de proyecto (*Ver ROM 0.2-90*).

La velocidad del viento de proyecto para Fase de Construcción y para Fase de Servicio en Condiciones Climáticas Extremas y Excepcionales se determinará a partir de la Velocidad Básica del viento, en el punto y dirección considerados, correspondiente al periodo de retorno ( $T$ ) asociado a la probabilidad de presentación o riesgo admisible ( $E$ ) durante el periodo asignado en proyecto a la fase analizada ( $L_t$ ), tomando en consideración las condiciones específicas de proyecto (*rugosidad superficial, altura, topografía local, y tipo de estructura*).

Los criterios generales para la consideración de riesgos máximos admisibles y vidas útiles mínimas para la valoración de cargas variables se recogen en la ROM 0.2-90, apartados 2.2. VIDA ÚTIL ( $L$ ) y 3.2. CRITERIOS DE VALORACIÓN DE ACCIONES, los cuales se irán desarrollando en las distintas Recomendaciones referentes a estructuras particulares.

La relación entre riesgo, vida útil y periodo de retorno viene dada por la expresión:

$$E = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{L_t} \quad [3.2.1]$$

(33) Ver Apartado 2.2. CARACTERIZACIÓN DEL VIENTO EN PERIODOS LARGOS DE TIEMPO.

(34) Ver Apartado 2.1.4. FACTORES DE VELOCIDAD DE VIENTO.

(35) Velocidad Media del Viento en un intervalo de 10 minutos, en condiciones de mar abierto (*Categoría de I rugosidad superficial*) y a 10 m de altura sobre la superficie (*Ver apartado 2.1.3. VELOCIDAD BÁSICA DEL VIENTO*).

que para periodos de retorno altos puede aproximarse por:

$$E = 1 - e^{-\frac{L_f}{T}} \Rightarrow T = -\frac{L_f}{\ln(1-E)} \quad [3.2.2]$$

La influencia de las condiciones específicas de proyecto en la definición de la velocidad del viento de proyecto se llevará a cabo por medio de los factores de velocidad de viento  $F$ , mediante la formulación siguiente:

$$V_{v,t(z)]_{T,\alpha} = V_{b]_{T,\alpha} \cdot F_A \cdot F_T \cdot F_R \quad [3.2.3]$$

siendo:

$V_{v,t(z)]_{T,\alpha}$ : Velocidad del viento de proyecto en la dirección  $\alpha$  asociada a un periodo de retorno  $T$ , correspondiente a un intervalo de medición o duración de ráfaga  $t$  y a una altura  $z$ .

$V_{b]_{T,\alpha}$ : Velocidad básica del viento en la dirección  $\alpha$  asociada a un periodo de retorno  $T$ .

$F_A$ : Factor de Altura y de Rugosidad Superficial.

El valor del factor  $F_A$  para la altura y categoría de rugosidad superficial considerada puede obtenerse en el ábaco de la tabla 2.1.4.1.2. Las condiciones de aplicación de este factor se recogen en el apartado 2.1.4.1.

En el ámbito de aplicación de esta Recomendación deberá considerarse siempre Categoría I de rugosidad superficial, sin perjuicio de las modificaciones de categoría que puedan surgir cuando se tome en consideración la dirección de actuación del viento. Asimismo, en ningún caso se considerarán velocidades correspondientes a alturas menores a 10 m; es decir, para valores de  $z < 10$  m se tomará el valor correspondiente a  $z=10$  m.

Cuando la estructura o el flotador tenga una altura  $\leq 30$  m podrá simplificadamente no considerarse la variación del perfil de velocidades del viento con la altura, tomándose como velocidad de proyecto la correspondiente a 10 m de altura. Para alturas mayores podrá discretizarse el perfil de velocidades en zonas de velocidad uniforme, calculadas usando el factor  $F_A$  correspondiente a la altura del punto superior de cada parte. En ningún caso la discretización será en partes superiores a 30 metros de altura. Como regla general es recomendable tomar 10 m.

$F_T$ : Factor Topográfico.

El valor del factor  $F_T$  para la altura y heterogeneidad topográfica de escala local consideradas puede obtenerse en la tabla 2.1.4.2.1. Las condiciones de aplicación de este factor se recogen en el apartado 2.1.4.2.

En el ámbito de aplicación de esta Recomendación se considera que los efectos de la topografía local pueden ser especialmente significativos en rías y estuarios muy encajados y profundos o en las proximidades de acantilados.

Cuando no se tome en consideración la dirección de actuación del viento se tomará el factor  $F_T$  correspondiente a la dirección en la que el efecto de la topografía local sea más desfavorable. En estos casos no se tendrá en cuenta la posibilidad de reducciones en la velocidad del viento por efectos topográficos ( $F_T < 1$ ).

En ningún caso se considerarán factores topográficos para alturas menores a 10 m; es decir, para valores de  $z < 10$  m se tomará el valor correspondiente a  $z=10$ m. Cuando la estructura o flotador tengan una altura  $\leq 30$  m podrá simplificadamente no considerarse la variación del factor  $F_T$  con la altura, tomándose aquél correspondiente a 10 m de altura.

En los casos en que se discretice el perfil de velocidades según los criterios definidos en  $F_A$  para estructuras o flotadores de altura superior a 30 metros, se aplicará el factor  $F_T$  correspondiente a la altura del punto superior de cada parte.

$F_R$ : Factor de Ráfaga Máxima.

El valor del factor  $F_R$  correspondiente a intervalos de medición o duraciones de ráfaga de 3 s, 5 s, 15 s y 1 minuto, para diferentes alturas y categorías de rugosidad superficial, puede obtenerse en la tabla 2.1.4.3.1. Las condiciones de aplicación de este factor se recogen en el apartado 2.1.4.3.

En el ámbito de aplicación de esta Recomendación, para la determinación del factor  $F_R$  deberá tomarse siempre Categoría I de rugosidad superficial, sin perjuicio de las modificaciones de categoría que pudieran surgir cuando se tome en consideración la dirección de actuación del viento.

En ningún caso se considerarán factores de ráfaga máxima correspondientes a alturas menores a 10 metros; es decir, para valores de  $z < 10$  m se tomará el valor correspondiente a  $z = 10$  m. Cuando la estructura o flotador tengan una altura  $\leq 30$  m podrá simplificarmente no considerarse la variación del factor  $F_R$  con la altura, tomándose aquél correspondiente a 10 metros de altura. Por tanto en estos casos, que son los más generales en el ámbito de aplicación de esta Recomendación, los factores de ráfaga máxima correspondientes a cada intervalo de medición o duración de ráfaga considerado serán:

<u>DURACION DE RAFAGA</u>	<u><math>F_R</math></u>
3 s	1.44
5 s	1.42
15 s	1.38
1 min	1.31

En los casos en que se discretice el perfil de velocidades según los criterios definidos en  $F_A$  para estructuras o flotadores de altura superior a 30 metros, se aplicará el factor  $F_R$  correspondiente a la altura del punto superior de cada parte.

Se adoptará como velocidad de proyecto la correspondiente al intervalo de medición o duración de ráfaga (t) más corto capaz de afectar a la estructura o elemento estructural considerado dando empujes o fuerzas de arrastre efectivos sobre la totalidad de la misma, o capaz de vencer la inercia de elementos o estructuras móviles o flotantes.

Para la determinación del intervalo de tiempo o duración de ráfaga t a considerar en función del tipo de estructura o elemento estructural analizado se atenderá a lo dispuesto en la tabla 3.2.1.2.1.

### 3.2.1.2.2. VELOCIDAD DEL VIENTO DE PROYECTO EN CONDICIONES NORMALES DE OPERACION

Se considera que una estructura o instalación está sometida a condiciones normales de operación cuando ésta funciona sin limitaciones, no viéndose afectada por las condiciones climáticas. A efectos del proyecto esta condición está asociada a las condiciones climáticas límite de operatividad de la instalación. Por lo tanto, esta condición de proyecto deberá considerarse únicamente cuando la estructura o instalación tenga limitada su operatividad (*Ver ROM 0.2-90*).

La velocidad del viento de proyecto para Fase de Servicio en Condiciones Normales de Operación se determinará a partir de la Velocidad Básica del viento, en el punto y dirección considerados, correspondiente al nivel de excedencia límite establecido en función de los criterios funcionales o de operatividad del proyecto, tomando en consideración las condiciones específicas de proyecto (*rugosidad superficial, altura, topografía local y tipo de estructura*). La influencia de las condiciones específicas de proyecto en la definición de la velocidad del viento de proyecto se llevará a cabo por medio de los factores de velocidad de viento F, según las condiciones establecidas en el apartado 3.2.1.2.1. Asimismo, la velocidad del viento de proyecto en Condiciones Normales de Operación también podrá fijarse directamente como aquella establecida como condición límite de operatividad para la situación y condiciones de explotación de la instalación o estructura analizada.

Al igual que en otras obras de ingeniería civil como puede ser el caso de los puentes móviles, en las estructuras e instalaciones portuarias esta condición de proyecto es especialmente importante, ya que en algunas instalaciones es usual que las condiciones de

**TABLA 3.2.1.2.1. INTERVALO DE MEDICION O DURACION DE RAFAGA A CONSIDERAR PARA LA DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DE PROYECTO EN FUNCION DEL TIPO ESTRUCTURAL ANALIZADO**

TIPO ESTRUCTURAL	DURACION DE RAFAGA
<b>ELEMENTOS E INSTALACIONES FIJAS</b>	
– Elementos estructurales aislados. – Subestructuras (p.e cerramientos, cubiertas,...) y sus elementos de sujeción a la estructura resistente.	3 segundos
– Estructuras o partes de ella cuya mayor dimensión horizontal y vertical no sobrepasa los 50 m.	5 segundos
– Estructuras o partes de ella cuya mayor dimensión horizontal o vertical excede de 50 m.	15 segundos
<b>ELEMENTOS E INSTALACIONES MOVILES</b>	
– Equipamiento. – Equipos e instalaciones de manipulación y transporte de mercancías.	3 segundos
– Pequeñas embarcaciones y elementos flotantes hasta 25 m de eslora.	15 segundos
– Buques y estructuras flotantes de eslora mayor de 25 m.	1 minuto

explotación estén limitadas en función de criterios funcionales impuestos por la propiedad de la misma, por la actuación de equipos de manipulación de mercancías cuya operatividad está limitada por el fabricante, por no quedar garantizada la seguridad de la estructura del buque en ciertas condiciones climáticas, o por la no disponibilidad de elementos o equipos necesarios para garantizar una total operatividad de la instalación en cualquier condición climática (p.e. *disponibilidad o no de remolcadores con potencia suficiente para garantizar con seguridad la maniobra de atraque o desatraque en dichas condiciones climáticas*). Estas condiciones son particularmente importantes en el proyecto de obras de atraque y amarre, de obras de carena y varada, y de instalaciones de manipulación de mercancías.

Independientemente de los criterios de operatividad que se recomienden para cada tipo de instalación en futuras Recomendaciones específicas, sin perjuicio de otras y a falta de estudios más detallados o premisas de proyecto, para las instalaciones y estructuras portuarias más comunes podrán utilizarse las velocidades de viento límite de operatividad generales establecidas como condiciones límite de explotación en la ROM 0.2. Un resumen de las mismas se incluye en la tabla 3.2.1.2.2. Los valores incluidos en esa tabla se considerarán de aplicación únicamente cuando la acción del viento sea el efecto preponderante para la definición de la operatividad de la instalación, sin perjuicio de tener que tomar en consideración en los cálculos la existencia de otras acciones climáticas de actuación simultánea compatible con el mismo.

### 3.2.1.3. DIRECCION DEL VIENTO DE PROYECTO

En los casos más generales y con el objeto de reducir el proceso de cálculo podrá admitirse simplifícadamente del lado de la seguridad que el viento actúa horizontalmente con igual intensidad y frecuencia en todas las direcciones, pudiendo obtenerse la velocidad del viento de proyecto a partir del régimen escalar correspondiente. En estas condiciones se asociará a la velocidad de proyecto únicamente la dirección o direcciones que produzcan las acciones más desfavorables sobre la estructura analizada. La aplicación del criterio anterior conducirá ordinariamente al estudio de las estructuras e instalaciones bajo la actuación del viento en la

**TABLA 3.2.1.2.2. VELOCIDADES DE VIENTO LIMITE DE OPERATIVIDAD USUALES EN INSTALACIONES Y ESTRUCTURAS PORTUARIAS NO CONSIDERANDO DIFERENCIACION DIRECCIONAL**

<b>1. DE EQUIPOS E INSTALACIONES DE MANIPULACION DE MERCANCIAS</b>	
- Equipo o instalación general en servicio	: $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 22\text{ m/s} (\approx 80\text{ km/h})$
- Equipo en servicio durante operaciones de carga o descarga de buques	: $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 19\text{ m/s} (\approx 70\text{ km/h})$
<b>2. DE BUQUES ATRACANDO</b>	
- Buques de Eslora $\leq 25\text{ m}$ .	: Sin límites de operatividad
- Buques de Eslora $> 25\text{ m}$ .	
• Sin ayuda de remolcadores	: $V_{v,1min}(10\text{ m}) = 20\text{ m/s} (\approx 70\text{ km/h})$
• Con ayuda de remolcadores*), pero sin modificar la configuración del buque	: $V_{v,1min}(10\text{ m}) = 22\text{ m/s} (\approx 80\text{ km/h})$
• Con ayuda de remolcadores*), pero modificando la configuración del buque para reducir su superficie expuesta (lastrado,...)	: $V_{v,1min}(10\text{ m}) = 28\text{ m/s} (\approx 100\text{ km/h})$
- Buques con mercancías peligrosas	: $V_{v,1min}(10\text{ m}) = 14\text{ m/s} (\approx 50\text{ km/h})$
<b>3. DE BUQUES AMARRADOS</b>	
- Buques de Eslora $\leq 25\text{ m}$ .	: Sin límites de operatividad
- Buques de Eslora $> 25\text{ m}$ .	
• Durante operaciones de carga y descarga	: $V_{v,1min}(10\text{ m}) = 17\text{ m/s} (\approx 60\text{ km/h})$
• Permanencia en el atraque**)	
a. En estructuras de atraque	
• Sin ayuda de remolcadores	: $V_{v,1min}(10\text{ m}) = 20\text{ m/s} (\approx 70\text{ km/h})$
• Con ayuda de remolcadores*), pero sin modificar la configuración del buque	: $V_{v,1min}(10\text{ m}) = 22\text{ m/s} (\approx 80\text{ km/h})$
• Con ayuda de remolcadores*), pero modificando la configuración del buque para reducir su superficie expuesta (lastrado,...)	: $V_{v,1min}(10\text{ m}) = 28\text{ m/s} (\approx 100\text{ km/h})$
b. En monoboyas y campos de boyas	: $V_{v,1min}(10\text{ m}) = 30\text{ m/s} (\approx 110\text{ km/h})$
<b>4. DE INSTALACIONES DE CONSTRUCCION DE BUQUES, CARENA Y VARADA</b>	
- Buque en maniobra	: $V_{v,1min}(10\text{ m}) = 11\text{ m/s} (\approx 40\text{ km/h})$
- Buque en seco	: Sin límites de operatividad
- Buque en seco durante operación de equipos de trabajo	: Igual a apartado 1

**NOTAS: \*)** Se considerará con ayuda de remolcadores siempre que exista la disponibilidad de remolcadores capaces de desarrollar una tracción a punto fijo del 150% de la fuerza máxima resultante del viento sobre el buque, en las condiciones de oleaje y corriente de actuación simultánea compatible con dicho viento.

**\*\*)** Salvo en obras de atraque muy especializadas o para grandes buques se recomienda no limitar la permanencia en el atraque de los buques. En todo caso, si como criterio de explotación la permanencia en el atraque se limita, deberá señalarse explícitamente como premisa de proyecto una vez aprobado por el cliente o la autoridad competente, incluyéndose asimismo en los manuales de explotación y de seguridad del puerto o instalación portuaria.



dirección de sus ejes principales y en ambos sentidos. En casos especiales, como por ejemplo estructuras reticuladas abiertas, construcciones con caras dentadas o con estructuras oblicuas a sus caras exteriores, y en general estructuras con formas complejas, se considerará además su actuación en las direcciones sesgadas que resulten más desfavorables.

No obstante, la aplicación de la simplificación anterior puede dar lugar a sobredimensionamientos excesivos especialmente en los siguientes casos:

- La sensibilidad de la estructura o instalación considerada respecto a la acción del viento en diversas direcciones es muy diferente.
- La velocidad del viento de proyecto está significativamente modificada según las direcciones por efecto de diferentes rugosidades superficiales, por la presencia de accidentes topográficos de escala local (*riás, acantilados,...*) o por abrigos artificiales.
- Actúan simultáneamente con el viento otras acciones medioambientales o climáticas direccionalmente dependientes (*p.e. oleaje local de viento*).

Por tanto, en estos casos es recomendable realizar un análisis direccional más completo, obteniéndose las diversas velocidades del viento de proyecto para cada sector direccional de actuación a partir del régimen direccional correspondiente. El análisis direccional da lugar, en general, a menores velocidades del viento de proyecto que las obtenidas a partir de los regímenes escalares aunque a un mayor número de hipótesis de cálculo.

En aquellos casos que lo requieran podrá considerarse que la dirección de actuación del viento puede variar de +10° a -10° respecto a la horizontal.

#### 3.2.1.4. VALORES REPRESENTATIVOS DE LA ACCION

Una vez definido el Estado de Viento de Proyecto en la localización geográfica considerada, para cada una de las fases de proyecto e hipótesis de trabajo, y por tanto la velocidad y dirección del viento de proyecto, los diferentes valores representativos de la acción del viento ( $Q_{Mak}$ )<sup>36)</sup> serán preferentemente obtenidos a partir de las siguientes velocidades del viento:

- VALORES CARACTERISTICOS ( $Q_{Mak}$ )

- *En Fases de Construcción y Servicio, excepto en la hipótesis de Condiciones Normales de Operación:*

$$V_{v,t}(z)]_{T,\alpha}$$

siendo T el periodo de retorno asociado a la probabilidad de presentación o riesgo admisible (E) durante el periodo asignado en proyecto a la fase analizada (L<sub>p</sub>). Se determinará a partir del régimen extremal utilizado de la variable velocidad de viento (*escalar o direccional*), seleccionando aquella correspondiente a la estima central del régimen<sup>37)</sup>.

En ausencia de información local más precisa y fiable, los valores característicos de las cargas de viento en el litoral español podrán obtenerse a partir del mapa de velocidad básica escalar del viento asociada a un periodo de retorno de 50 años ( $V_{b|50 \text{ años}}$ ) que se incluye en la tabla 3.2.1.4.1. Este mapa ha sido desarrollado a partir de la interpretación de los resultados recogidos en el Atlas de Viento del Litoral Español, incluido en el Anejo I de esta Recomendación. La velocidad básica del viento asociada a cualquier otro periodo de retorno podrá obtenerse a partir de la anterior por medio de la formulación siguiente (*Ver figura 3.2.1.4.1*):

$$K_T = \frac{V_b]_T}{V_b]_{50 \text{ años}}} = \left( \frac{1 - 0.2 \cdot \ln \left[ - \ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right)^{0.5}}{1 - 0.2 \cdot \ln [- \ln 0.98]} \approx \quad [3.2.4]$$

$$\approx 0.75 \cdot \sqrt{1 + 0.2 \ln (T)} \quad , \quad (T \text{ en años})$$

Asimismo en los casos necesarios, en el litoral español la velocidad básica del viento correspondiente a la dirección  $\alpha$  asociada a un periodo de retorno T podrá obtenerse a partir de la velocidad básica escalar correspondiente a dicho periodo de retorno,

(36) Ver Apartado 3.2.3. de la ROM 0.2-90. VALORES REPRESENTATIVOS DE LAS CARGAS VARIABLES.

multiplicándola por el coeficiente direccional  $K_\alpha$  correspondiente a dicha dirección en la zona considerada (*Ver Anejo I: Atlas de Viento en el Litoral Español*). Es decir:

$$V_b]_{T,\alpha} = V_b]_{50 \text{ años}} \cdot K_T \cdot K_\alpha \quad [3.2.5]$$

Los criterios para la adopción de riesgos admisibles y vidas útiles para la determinación de los valores característicos de las acciones variables se recogen en los apartados 2.2. y 3.2 de la ROM 0.2-90.

Como ejemplo, a la vista de lo recomendado en los apartados 2.2. y 3.2. de la ROM 0.2-90, los periodos de retorno para fase de servicio y condiciones extremas correspondientes a diversos tipos de obras serán, para infraestructuras rígidas de carácter general, los siguientes:

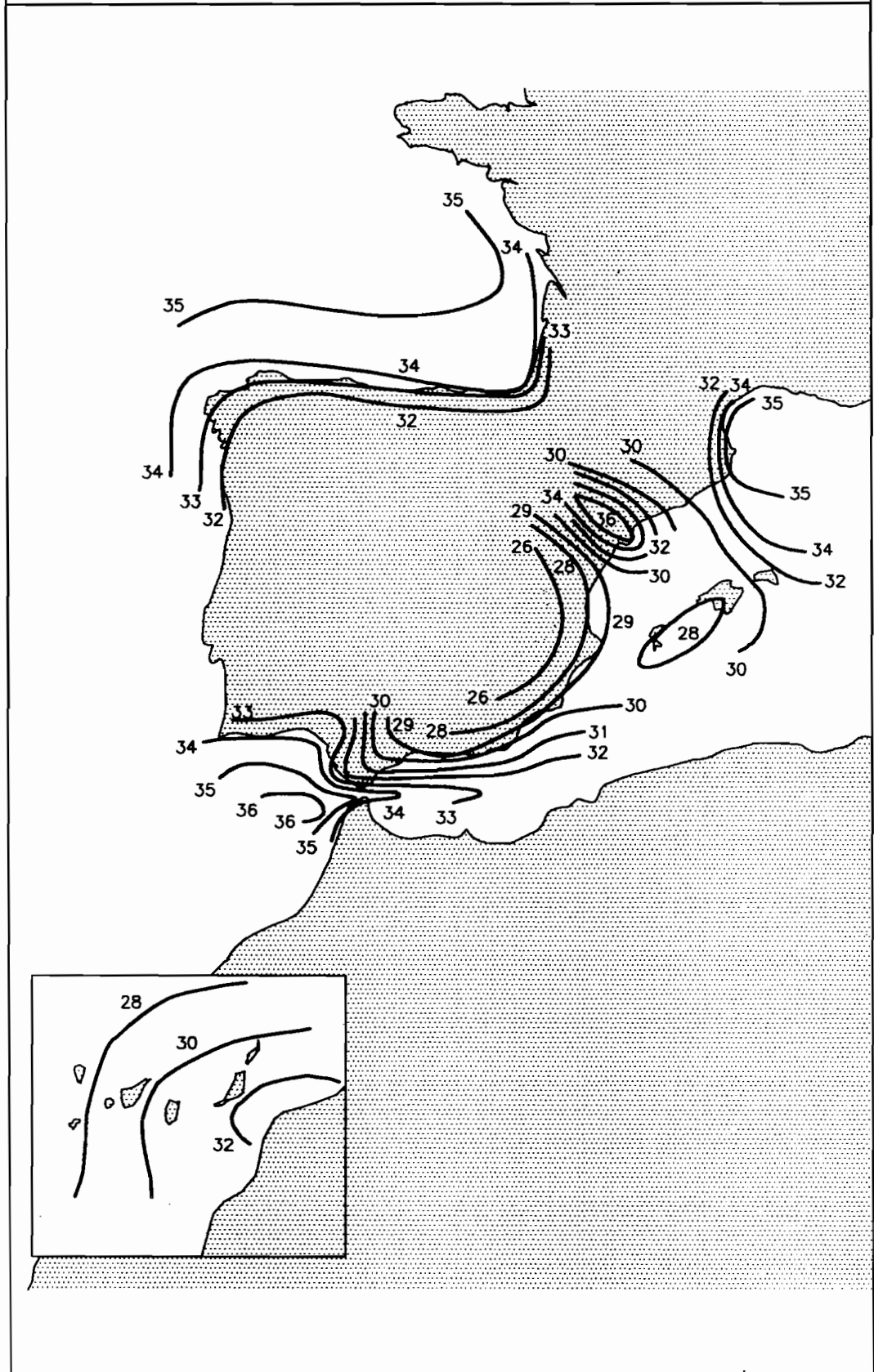
- **OBRAS E INSTALACIONES DE INTERES LOCAL O AUXILIARES** (*Vida útil = 25 años*)
  - Edificaciones Portuarias: T=155 años ( $E=0.15$ ).
  - Instalaciones para manejo y manipulación de mercancías: T=113 años ( $E=0.20$ ).
  - Obras Marítimas en puertos menores o deportivos (*muelles, pantalanes, ...*): T=240 - 113 años ( $E=0.10-0.20$ ), en función de la repercusión económica en caso de inutilización de la obra.
- **OBRAS E INSTALACIONES DE INTERES GENERAL** (*Vida útil = 50 años*)
  - Obras Marítimas en grandes Puertos (*Obras de Atraque, Diques, ...*) T=475 - 225 años ( $E=0.10-0.20$ ), en función de la repercusión económica en caso de inutilización de la obra.
- **OBRAS DE PROTECCION CONTRA INUNDACIONES** (*Vida útil = 100 años*)
  - Defensa de núcleos urbanos o bienes industriales: T=2000 años ( $E=0.05$ ).

(37) La ROM 0.2-90 considera que el valor característico de una acción variable medioambiental o climática, obtenida mediante criterios de riesgo a partir de un régimen extremal determinado a partir de datos estadísticos referentes a los parámetros que constituyen el origen físico de la acción (*altura de ola, velocidad del viento,...*), está ligado a Estados Límites Ultimos siempre que no seleccionemos el valor de la variable en la estima central del régimen sino en el correspondiente a un nivel de confianza del 90%. En estos casos, por tanto, la acción interviene sin ponderación ( $\gamma_f=1$ ) en las combinaciones de carga de verificación de Estados Límites Ultimos. Estrictamente hablando, la acción obtenida correspondería al valor de cálculo de la acción más que al valor característico. La ROM 0.2-90 hizo este planteamiento tomando fundamentalmente en consideración la experiencia española de no ponderar o ponderar muy débilmente, en general, las acciones del oleaje o la altura de ola para el cálculo de obras marítimas, y por tanto pensando fundamentalmente en la especificidad de esta acción. Este método además permitiría, por medio de la banda de confianza, considerar indirecta y fácilmente coeficientes de ponderación variables en función de la incertidumbre asignada al régimen extremal de partida (*calidad estadística de la muestra, bondad del método de análisis extremal utilizado, extrapolación de resultados para periodos de retorno altos,...*). Aspecto por lo demás razonable y que cuenta con cierta tradición en la literatura técnica en el campo de la ingeniería marítima. Este planteamiento, demostrado correcto y absolutamente del lado de la seguridad para los periodos de retorno usuales en el cálculo de obras marítimas para la comprobación de Estados Límites Ultimos, omitía cual era el valor de servicio de la acción así definida, imprescindible para la comprobación de Estados Límites de Utilización y Estados Límites Ultimos controlados por el comportamiento del terreno. Obtener como simplificación el valor de servicio de la acción dividiendo por 1.5 no se considera correcto ya que el coeficiente incluido es manifiestamente variable como ya se ha justificado.

A la vista de las dificultades de aplicación de la ROM 0.2-90 para la comprobación de todos los Estados Límites en los que intervienen acciones climáticas o medioambientales y con el objeto de que no se hagan interpretaciones erróneas de la misma, la Comisión Técnica ha preferido definir el valor característico de las acciones climáticas extremas como el resto de las acciones, y por tanto ligadas al valor de servicio de la acción y no al valor último, no incluyendo como excepción ni a la acción del oleaje. Este planteamiento permite mantener una total homogeneidad sin excepciones con las definiciones establecidas en los Eurocódigos y en la Normativa española e internacional de materiales y acciones. Esto permitirá además la utilización conjunta sin dificultades de interpretación de toda la normativa vigente. Esto es especialmente importante en el caso de la acción del viento, con la existencia de códigos internacionales antiguos y consolidados. Para ello se considera como valor característico de toda acción climática en fase de construcción y servicio en condiciones extremas el correspondiente a la estima central del régimen. Las incertidumbres asociadas a éste, así como las inexactitudes en la determinación de las solicitaciones, las inexactitudes de la ejecución en la medida en que afectan a éstas y su incidencia sobre la seguridad se tendrán en cuenta mediante coeficientes de seguridad que definirán el valor de cálculo de la acción (*Ver apartado 3.2.1.5.*).

Estos criterios modifican los correspondientes incluidos en la ROM 0.2-90, y serán recogidos en revisiones posteriores de la misma.

TABLA 3.2.1.4.1. VELOCIDAD BASICA ESCALAR DEL VIENTO EN EL LITORAL ESPAÑOL, ASOCIADA A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS [ $V_{b|50 \text{ años}}$ ], (en m/s)



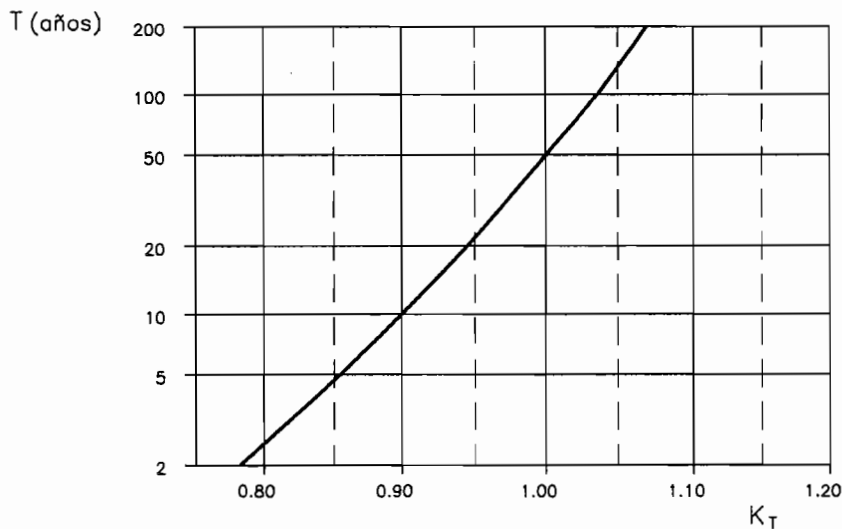


FIGURA 3.2.1.4.1. Factor de conversión de la velocidad del viento para periodos de retorno diferentes a 50 años.

- En Condiciones Normales de Operación:

$$V_{v,t}(z)]_{\text{limite de operatividad},\alpha} \not\geq V_{v,t}(z)]_{T,\alpha}$$

siendo el primer término de la desigualdad la velocidad del viento límite de operatividad en la dirección  $\alpha$  para la hipótesis de trabajo considerada, y T el periodo de retorno adoptado para la definición del valor característico de la acción en condiciones extremas.

– VALORES DE COMBINACION ( $\psi_0 \cdot Q_{M4k}$ )

- En Fases de Construcción y Servicio, excepto en la hipótesis de Condiciones Normales de Operación:

$$V_{v,t}(z)]_{T/4,\alpha}$$

siendo T el periodo de retorno adoptado para la definición del valor característico de la acción en condiciones climáticas extremas. Es decir, la velocidad del viento correspondiente a un periodo de retorno igual a 1/4 del fijado para la determinación del valor característico de la acción.

En aquellos casos en que la acción no pueda ser fijada mediante base estadística podrá tomarse  $\psi_0 = 0.7^{(38)}$ .

(38) Este puede ser el caso en zonas geográficas en las que no se disponga de regímenes o mapas de velocidad de viento asociados a periodos de retorno. Es decir cuando el valor característico de la acción de viento se obtenga a partir de valores deterministas (*valores nominales*) de la velocidad del viento como en la vigente Norma Española NBE-AE-88. "Acciones en la Edificación". Se hace notar que el valor de  $\psi_0$  se aplica al valor de la acción no a la velocidad del viento.

Lo definido en este apartado es válido únicamente cuando la acción variable preponderante no es una acción medioambiental o climática con el mismo origen físico que el viento (p.e. el oleaje local de viento). En ese caso el valor de combinación de la acción de viento será el compatible con la acción climática preponderante.

- En Condiciones Normales de Operación:

$$V_{v,t}(z) \Big]_{\text{viento máximo de actuación simultánea compatible con la acción climática de efecto preponderante que limite la operatividad, } \alpha^{39)}$$

Si el viento no tiene el mismo origen físico que la acción climática preponderante para la condición de operatividad considerada, se tomará aquel valor de la velocidad del viento que conjuntamente con la acción preponderante limita la operatividad de la instalación.

- VALOR FRECUENTE ( $\psi_1 \cdot Q_{M4k}$ )

$$V_{v,t}(z) \Big]_{0.95, \alpha}$$

Es decir, la velocidad de viento asociada a una probabilidad de no excedencia del 95% en el año medio, considerando en caso necesario una dirección  $\alpha$  de actuación. Este valor puede obtenerse por medio del régimen medio de velocidad del viento correspondiente y la frecuencia de presentación sectorial (Ver fórmula 2.2.5).

En ausencia de información local más precisa y fiable, los valores frecuentes de las cargas de viento en el litoral español podrán obtenerse a partir del mapa de velocidad básica escalar incluido en la tabla 3.2.1.4.2. Este mapa ha sido desarrollado a partir de la interpretación de los resultados recogidos en el Atlas de Viento del Litoral Español (Ver Anejo I).

En aquellos casos en que la acción no pueda ser fijada mediante base estadística podrá tomarse del lado de la seguridad  $\psi_1 = 0.3$ , pudiendo variar en función de la zona geográfica considerada. De la observación de los resultados recogidos en el Atlas de Viento del Litoral Español puede concluirse que en la costa española el valor de  $\psi_1$  está más próximo a 0.2.<sup>40)</sup>

- VALOR CUASI-PERMANENTE ( $\psi_2 \cdot Q_{M4k}$ )

$$V_{v,t}(z) \Big]_{0.50, \alpha}$$

Es decir, la velocidad del viento asociada a una probabilidad de no excedencia del 50% en el año medio, considerando en caso necesario una dirección  $\alpha$  de actuación.

Dado el rango de valores que se obtienen, simplificado es admisible tomar  $V_{v,t}(z) \Big]_{0.50, \alpha} = 0$ . Por tanto, de igual forma en aquellos casos en que la acción no pueda ser fijada mediante base estadística podrá tomarse  $\psi_2 = 0$ .

### 3.2.1.5. VALORES DE CALCULO DE LA ACCION

El valor de cálculo de la acción de viento a considerar en cada una de las combinaciones de acciones<sup>41)</sup> será obtenido a partir de la ponderación de uno de sus Valores Representativos (Valor Característico  $Q_{M4k}$ , Valor de Combinación  $\psi_0 \cdot Q_{M4k}$ , Valor Frecuente  $\psi_1 \cdot Q_{M4k}$ , Valor Cuasi-permanente  $\psi_2 \cdot Q_{M4k}$ ) mediante los oportunos Coeficientes de Seguridad ( $\gamma_{\#}$ ).

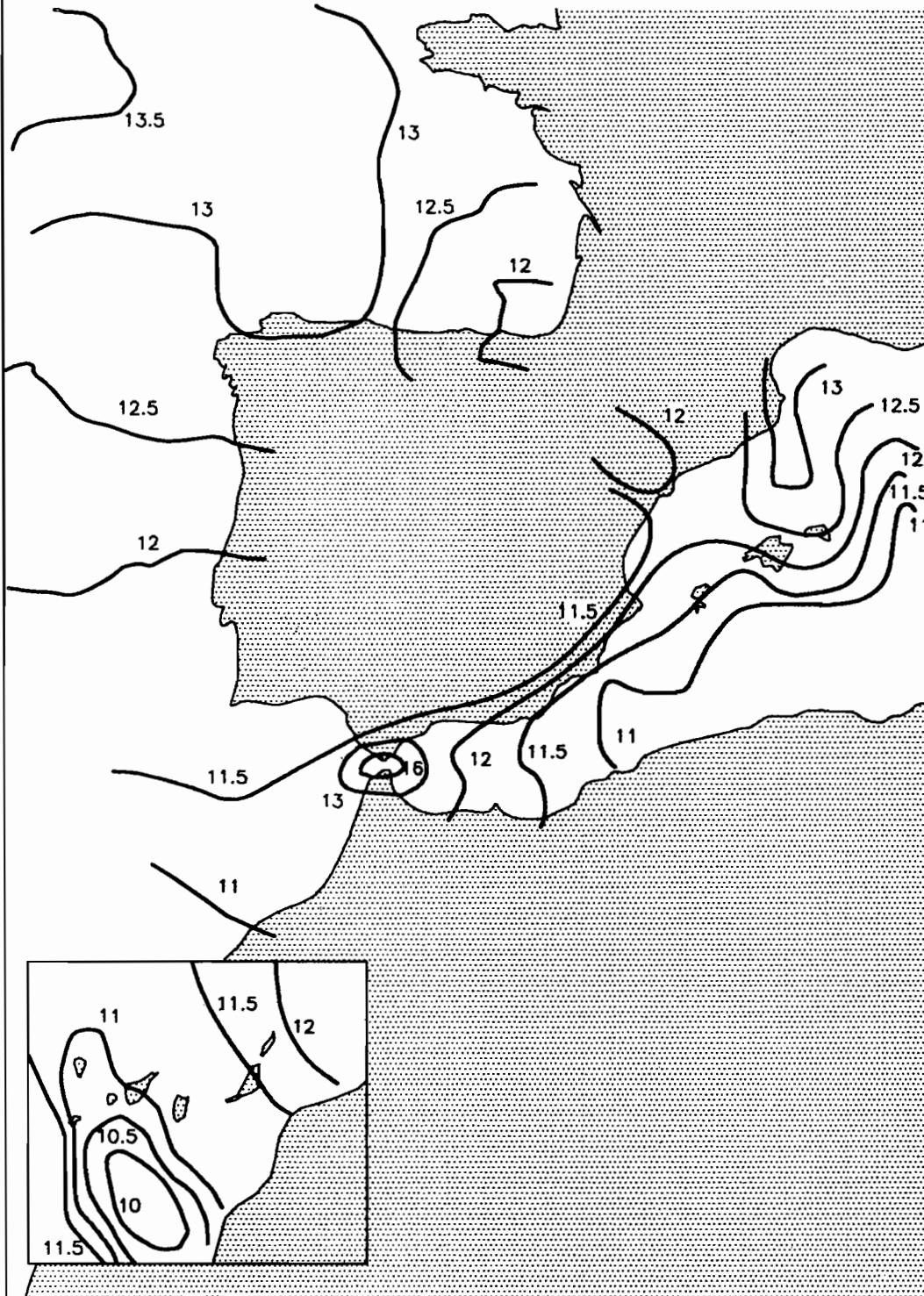
(39) P.e. si el oleaje local de viento (oleaje Sea) es la acción climática preponderante, el viento máximo de actuación simultánea compatible es aquél que puede producir dicho oleaje tomando en consideración las condiciones físicas del área de generación (Ver apartado I.7.3. y ROM 0.3).

(40) Se hace notar que el valor de  $\psi_1$  se aplica al valor de la acción no a la velocidad de viento.

(41) Ver Parte 4. BASES DE CALCULO de la ROM 0.2. ACCIONES EN EL PROYECTO DE OBRAS MARITIMAS Y PORTUARIAS, y ROM 0.5. RECOMENDACIONES GEOTECNICAS PARA OBRAS MARITIMAS.

(42) Los coeficientes de seguridad para la obtención de los valores de cálculo de la acción de viento incluidos en la tabla 3.2.1.5.1. modifican parcialmente los incluidos en la ROM 0.2-90 para acciones medioambientales o climáticas determinadas mediante base estadística (apartado 4.2.2. de la ROM 0.2-90). Esto es debido a la nueva definición del valor característico de una acción climática definida mediante base estadística incluida en esta Recomendación. (Ver apartado 3.2.1.4). Estos criterios serán recogidos en revisiones posteriores de la ROM 0.2.

TABLA 3.2.1.4.2. VELOCIDAD BASICA ESCALAR DEL VIENTO EN EL LITORAL ESPAÑOL PARA LA DETERMINACION DEL VALOR FRECUENTE DE LA ACCION DEL VIENTO  $[V_{b|0.95}]$ , (en m/s)



Para las estructuras en el ámbito de aplicación de esta Recomendación, los factores de seguridad a aplicar para la comprobación de Estados Límites Últimos en fase de construcción y servicio se recogen en la tabla 3.2.1.5.1.<sup>42)</sup> en función del Estado Límite analizado y la hipótesis de carga considerada según lo dispuesto en la Parte 4. Bases de Cálculo de la ROM 0.2-90. Para la comprobación del Estado límite Último de Fatiga y de los Estados Límites de Utilización se considerará  $\gamma_f = 1$ .

Dada, en general, la gran incertidumbre asociada en la actualidad a los regímenes extremos empleados para la determinación de acciones variables climáticas en condiciones extremas, debido fundamentalmente al poco tiempo efectivo de registro analizado usualmente, a la baja calidad estadística de los datos registrados y a que los métodos de análisis extremal en uso no están aún totalmente contrastados, puede hacerse imprescindible la introducción de coeficientes de seguridad  $\gamma_{fr}$  mayores que los fijados en la tabla 3.2.1.5.1. en aquellos casos en que la incertidumbre asociada al régimen extremal disponible sea grande. Esto puede ser especialmente significativo para periodos de retorno de proyecto grandes en función del tiempo efectivo de registro analizado. Lo que trata de garantizar este coeficiente de seguridad mayor es que, cuando la posibilidad de que se presenten acciones que se aparten del valor adoptado como característico es alta, quede margen de seguridad suficiente para cubrir el resto de factores que intervienen en la definición del coeficiente de seguridad (*inexactitudes en la determinación de las solicitaciones, imprecisiones en la ejecución,...*). Evidentemente ésto es aplicable siempre y cuando se considere suficientemente fiable el régimen extremal de partida.

Por todo lo anterior, para la comprobación de estados límites últimos por el método de coeficientes de seguridad parciales deberá garantizarse que el valor de cálculo de una acción climática en condiciones extremas obtenida mediante un régimen extremal de base estadística no es menor que el obtenido a partir del parámetro físico origen de la acción tomando la estima superior correspondiente a un nivel de confianza del 90% para el periodo de retorno de proyecto.

Para la definición de los valores de cálculo de las cargas de viento en el litoral español a partir del mapa de viento de la tabla 3.2.1.4.1. serán de aplicación los coeficientes de seguridad incluidos en la tabla 3.2.1.5.1.

### 3.2.2. ACCION DEL VIENTO SOBRE ESTRUCTURAS Y FLOTADORES

#### 3.2.2.1. PRESION DINAMICA DEL VIENTO

La acción del viento sobre estructuras y flotadores puede representarse tanto por las presiones actuantes sobre cada una de las superficies de los mismos como por la fuerza total resultante. En los dos casos la acción del viento será obtenida a partir del parámetro Presión Dinámica del Viento asociada a la velocidad del viento de proyecto  $[q_{v,t}(z)]$ . Este parámetro también se denomina Presión Básica del Viento.

Se define como Presión Dinámica del Viento a la presión unitaria producida por el viento en aquellos puntos donde su velocidad se anula. Se considera que la presión dinámica del viento actúa perpendicularmente a la superficie. Para una velocidad del viento de proyecto dada  $[V_{v,t}(z)]$  se determina por medio de la formulación siguiente:

$$q_{v,t}(z) = \frac{\rho}{2} \cdot V_{v,t}^2(z) \quad [3.2.6]$$

siendo:

$q_{v,t}(z)$ : Presión dinámica del viento asociada a la velocidad de proyecto  $V_{v,t}(z)$ .

$\rho$ : Densidad del aire. Su valor es función de la humedad, temperatura y presión atmosférica. Simplificadamente podrá tomarse como  $1,225 \text{ kg/m}^3$ . No obstante, cuando la estructura o el flotador considerado se encuentre en zonas muy expuestas en las proximidades de áreas muy batidas por el oleaje, en las que sea conocido o previsible que el viento pueda arrastrar abundante contenido de agua (*roci6n*), deberán considerarse aumentos en la densidad correspondiente al fluido equivalente hasta un máximo de  $15 \text{ kg/m}^3$ .

$V_{v,t}(z)$ : Velocidad del viento de proyecto.

En el Sistema Internacional de Unidades la formulación anterior podrá expresarse en los casos generales:

$$q_{v,t}(z) = 0.6125 V_{v,t}^2(z) \text{ , } q_{v,t}(z) \text{ en Pa y } V_{v,t}(z) \text{ en m/s}$$

La Tabla 3.2.2.1.1. permite obtener directamente la presión dinámica asociada a una velocidad del viento dada.

**TABLA 3.2.1.5.1. COEFICIENTES DE SEGURIDAD PARA LA OBTENCION DE LOS VALORES DE CALCULO DE LA ACCION DEL VIENTO APLICABLES EN LA COMPROBACION DE ESTADOS LIMITES ULTIMOS**

<i>ESTADO LIMITE ULTIMO</i>	<i>ACCION</i>	<i>SITUACIONES PERSISTENTES Y TRANSITORIAS<sup>1)</sup></i> <i>(<math>\gamma_{fq}</math>)</i>	<i>SITUACIONES ACCIDENTALES<sup>2)</sup></i> <i>(<math>\gamma_{fa}</math>)</i>
E.L. DE EQUILIBRIO	- Viento en Condiciones Normales de Operación	1.50 (1.10) <sup>3)</sup>	—
	- Viento en Condiciones Extremas	1.50	1.00
E.L. DE AGOTAMIENTO ESTRUCTURAL, INESTABILIDAD DE 2º ORDEN Y COLAPSO PROGRESIVO	- Viento en Condiciones Normales de Operación	1.50 (1.35) <sup>4)</sup>	—
	- Viento en Condiciones Extremas	1.50	1.00
E.L. CONTROLADOS POR EL COMPORTAMIENTO DEL TERRENO, UTILIZANDO EL METODO DE LOS COEFICIENTES PARCIALES	- Viento en Condiciones Normales de Operación	1.30 (1.00) <sup>5)</sup>	—
	- Viento en Condiciones Extremas	1.30	1.00
E.L. CONTROLADOS POR EL COMPORTAMIENTO DEL TERRENO, UTILIZANDO EL METODO DE SEGURIDAD PROPUESTO POR LA ROM 0.5-94	- Viento en Condiciones Normales de Operación	1.00	—
	- Viento en Condiciones Extremas	1.00	1.00

- NOTAS:**
1. Para Fases de Construcción y Servicio en Condiciones Normales de Operación, en Condiciones Extremas, y Reparación.
  2. Para Fase de Servicio en Condiciones Excepcionales, y Fase de Servicio después de una Situación Excepcional ( $A_k=0$ ).
  3. El proyectista podrá aplicar un coeficiente 1.10 siempre que considere que en servicio queda completamente garantizado el cumplimiento de los límites de operatividad.
  4. En condiciones normales de operación podrá adoptarse un coeficiente de 1.35 para el dimensionamiento de elementos secundarios que puedan llegar al agotamiento sin afectar a la estructura principal, con el objetivo de garantizar los límites de operatividad fijados para la misma (p.e. dimensionamiento de los sistemas de amarre, de los anclajes de los bollardos, ...). Asimismo, el proyectista podrá aplicar dicho coeficiente para el calculo estructural siempre que considere que en servicio queda completamente garantizado el cumplimiento de los límites de operatividad.
  5. El proyectista podrá aplicar un coeficiente de 1.0 siempre que considere que en servicio queda completamente garantizado el cumplimiento de los límites de operatividad.



**TABLA 3.2.2.1.1. PRESION DINAMICA DEL VIENTO ASOCIADA A UNA VELOCIDAD DEL VIENTO DADA**

$V_{v,t}$ (m/s)	$q_{v,t}$ (Pa)
10	61.3
12	88.2
14	120.1
16	156.8
18	198.5
20	245.0
22	296.5
24	352.8
26	414.1
28	480.2
30	551.3
32	627.2
34	708.1
36	793.8
38	884.5
40	980.0
42	1080.5
44	1185.8
46	1296.1
48	1411.2
50	1531.3
52	1656.2
54	1786.1
56	1920.8
58	2060.5
60	2205.0
62	2354.5
64	2508.8
66	2668.1
68	2832.2
70	3001.3

### 3.2.2.2. ACCION DEL VIENTO SOBRE UNA SUPERFICIE. FUERZAS DE PRESION

El viento produce sobre cada elemento superficial de una estructura o de un flotador, situado tanto a barlovento como a sotavento, una sobrecarga unitaria ( $p$ ), actuando en dirección normal a la superficie, de valor:

$$p = C_p \cdot q_{v,t}(z) \quad [3.2.7]$$

siendo:

$q_{v,t}(z)$ : Presión dinámica asociada a la velocidad del viento considerada para las condiciones específicas de proyecto ( $V_{v,t}(z)$ )<sup>43</sup>.

$C_p$ : Coeficiente Eólico de Presión (*Adimensional*).  
Este coeficiente es positivo cuando se produce un efecto de presión y negativo cuando se produce un efecto de succión. Es variable para cada elemento superficial considerado en función de la configuración y posición del elemento superficial, y de la dirección de incidencia del viento. A su vez, éste es diferente en función de que el elemento superficial sea exterior o interior a una construcción y de que esté situado a barlovento o sotavento. En el caso de que el elemento superficial sea interior a una construcción su valor dependerá, además de los parámetros citados, de la importancia y distribución de las aberturas por el contorno de la construcción. Es decir, podemos distinguir los siguientes coeficientes eólicos (*Ver figura 3.2.2.2.1*):

(43) Ver Apartado 3.2.1.2. VELOCIDAD DEL VIENTO DE PROYECTO.

$C_{pe,b}$ : Coeficiente Eólico para cara exterior a barlovento.  
 $C_{pe,s}$ : Coeficiente Eólico para cara exterior a sotavento.  
 $C_{pi,b}$ : Coeficiente Eólico para cara interior a barlovento.  
 $C_{pi,s}$ : Coeficiente Eólico para cara interior a sotavento.

El coeficiente eólico neto ( $C_{p,net}$ ) será igual a la diferencia entre los coeficientes eólicos correspondientes a cada una de las caras de la superficie analizada.

Podrán diferenciarse los siguientes casos:

- Una cara de la superficie analizada es exterior y la otra es interior (p.e. *cerramiento exterior de una construcción no estanca que presente un volumen interior*):

$$C_{p,net} = C_p = C_{pe,b} - C_{pi,b} \text{ ó } C_{p,net} = C_p = C_{pe,s} - C_{pi,s}$$

- Las dos caras de la superficie analizada son exteriores (p.e. *muro o valla de separación*):

$$C_{p,net} = C_p = C_{pe,b} - C_{pe,s}$$

- Las dos caras de la superficie analizada son interiores (p.e. *partición interior de una construcción no estanca que presente un volumen interior*):

$$C_{p,net} = C_p = C_{pi,b} - C_{pi,s}$$

Algunos ejemplos ilustrativos se incluyen en la figura 3.2.2.1.

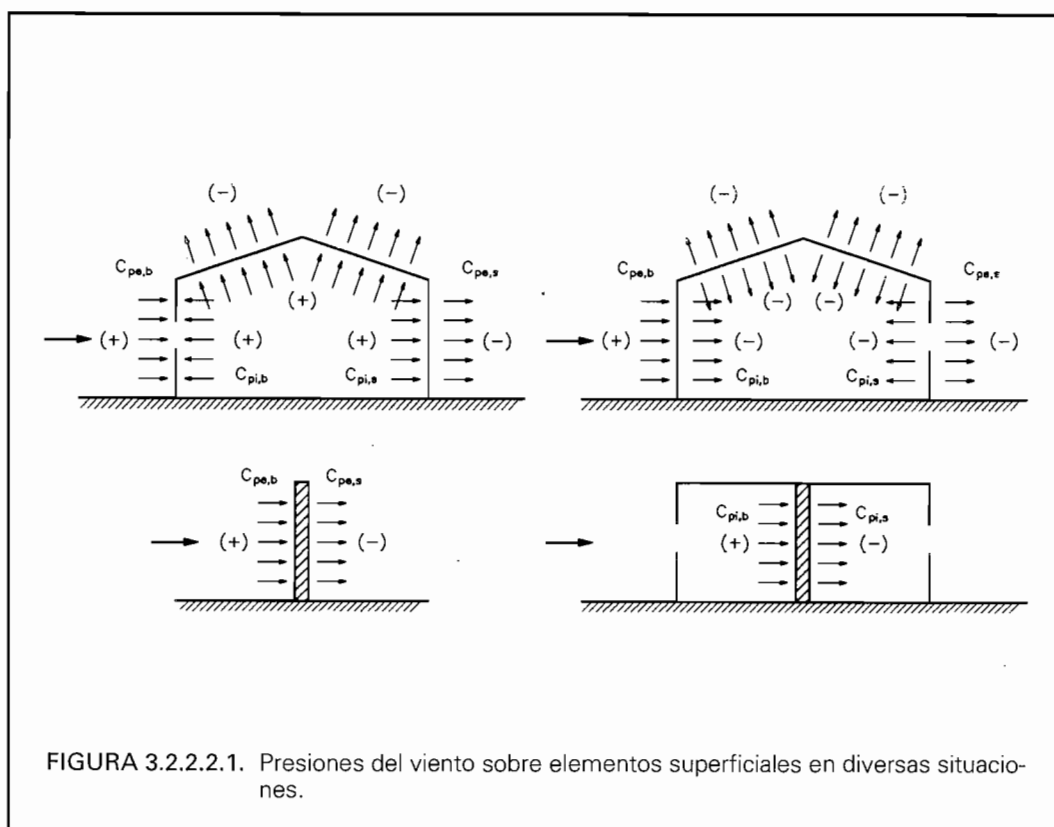


FIGURA 3.2.2.1. Presiones del viento sobre elementos superficiales en diversas situaciones.

El valor de los Coeficientes Eólicos tanto exteriores como interiores, para la configuración y posición del elemento estructural considerado y dirección de actuación del viento, podrán obtenerse de los Códigos y Normas vigentes, nacionales e internacionales, correspondientes a la acción del viento sobre las estructuras<sup>44)</sup>. No obstante, para los casos más usuales que se presentan en las

(44) En España Norma NBE-AE/88 "Acciones en la Edificación" y Eurocódigo 1 "Bases de Proyecto y Acciones sobre las Estructuras. Parte 2.3. Acción del Viento".

construcciones portuarias estos coeficientes pueden obtenerse en las tablas 3.2.2.2.1 a 3.2.2.2.13. de esta Recomendación.

En general, las presiones sobre cada una de las superficies envolvente de las construcciones se considerarán uniformes, salvo en aquellos casos en los que se señala expresamente subdividiendo la superficie en áreas de presión uniforme con coeficientes eólicos diferenciados. Pese a lo anterior, en las zonas de dichas superficies con discontinuidades marcadas (*p.e. aristas de las paredes y de las cubiertas, relieves en fachada,...*) se desarrollan presiones localizadas importantes, para cuyo cálculo se incluyen en las tablas los coeficientes eólicos locales correspondientes ( $C_{pe,j}$ ). Estas presiones deben ser tenidas únicamente en cuenta para el cálculo de elementos estructurales secundarios situados en dichas zonas.


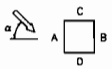
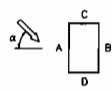

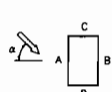

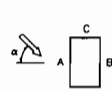
La carga total del viento sobre una estructura, elemento estructural o construcción se obtendrá como suma vectorial de las fuerzas netas resultantes de la presión del viento sobre cada una de las superficies de la misma ( $A_j$ ). Es decir:

$$R_v = \sum C_{p,j} \cdot q_{v,j}(z) \cdot A_j \quad [3.2.8]$$

Un valor negativo de  $R_v$  indica que la fuerza resultante es de succión.

Las presiones de viento sobre elementos superficiales valoradas según lo dispuesto en este apartado son válidas únicamente para superficies suficientemente rígidas que permitan despreciar los efectos de las vibraciones debidas a la acción del viento. A estos efectos, se considerarán superficies rígidas aquellas con frecuencias propias de vibración superiores a 5 Hz.

TABLA 3.2.2.2.1. COEFICIENTES EOLICOS DE PRESION EXTERIOR,  $C_{pe}$ , PARA PAREDES LATERALES DE CONSTRUCCIONES DE PLANTA RECTANGULAR

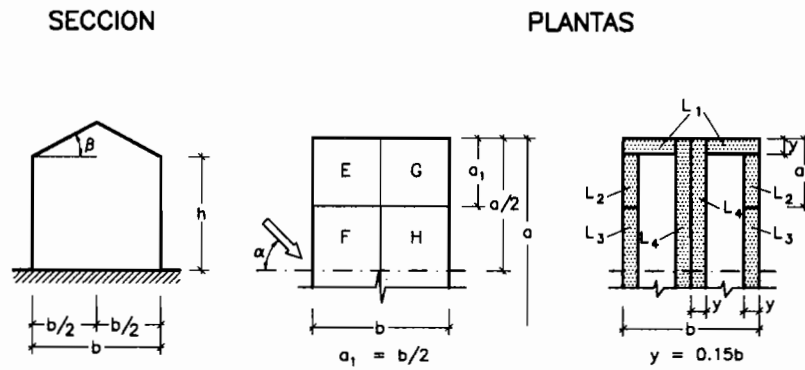
RELACIONES GEOMETRICAS DE LA CONSTRUCCION		PLANTA	DIRECCION DEL VIENTO ( $\alpha$ )	$C_{pe}$				$C_{pe,l}$ 
$\frac{h}{b}$	$\frac{a}{b}$			A	B	C	D	
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$1 < \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$		0°	+0,7	-0,2	-0,5	-0,5	-0,8
			90°	-0,5	-0,5	+0,7	-0,2	
	$\frac{3}{2} < \frac{a}{b} \leq 4$		0°	+0,7	-0,25	-0,6	-0,6	-1,0
			90°	-0,5	-0,5	+0,7	-0,1	
$\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 < \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$		0°	+0,7	-0,25	-0,6	-0,6	-1,1
			90°	-0,6	-0,6	+0,7	-0,25	
	$\frac{3}{2} < \frac{a}{b} \leq 4$		0°	+0,7	-0,3	-0,7	-0,7	-1,1
			90°	-0,5	-0,5	+0,7	-0,1	
$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	$1 < \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$		0°	+0,8	-0,25	-0,8	-0,8	-1,2
			90°	-0,8	-0,8	+0,8	-0,25	
	$\frac{3}{2} < \frac{a}{b} \leq 4$		0°	+0,7	-0,4	-0,7	-0,7	-1,2
			90°	-0,5	-0,5	+0,8	-0,1	

LEYENDA: h: altura de la construcción.  
a: mayor dimensión horizontal en planta de la construcción.  
b: menor dimensión horizontal en planta de la construcción.

NOTA:  Zona afectada por presiones locales.

TABLA 3.2.2.2. COEFICIENTES EOLICOS DE PRESION EXTERIOR,  $C_{pe}$ , PARA CUBIERTAS A DOS AGUAS DE CONSTRUCCIONES DE PLAN-TA RECTANGULAR

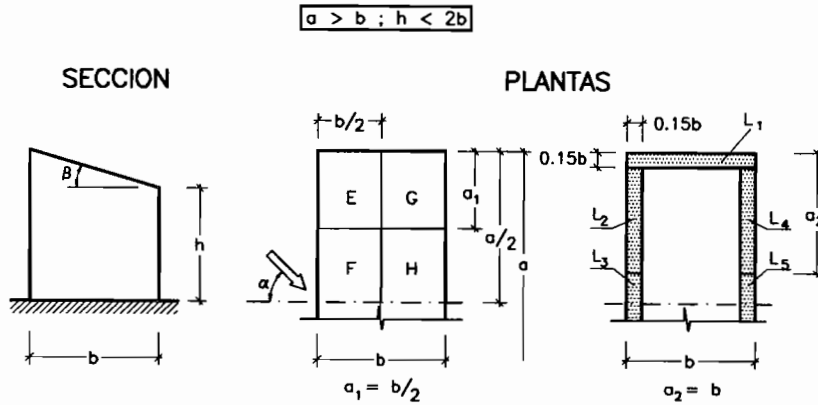
$a > b$



RELACIONES GEOMETRICAS DE LA CONSTRUCCION ( $h/b$ )	INCLINACION DE LA CUBIERTA ( $\beta$ )	$C_{pe}$				$C_{pe,l}$			
		DIRECCION DEL VIENTO							
		$\alpha=0^\circ$		$\alpha=90^\circ$		$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$
		E,F	G,H	E,G	F,H				
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$0^\circ$	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	
	$5^\circ$	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	$10^\circ$	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	$20^\circ$	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-1,2
	$30^\circ$	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1
	$45^\circ$	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1
	$60^\circ$	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6				
$\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$0^\circ$	-0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-2,0	-2,0	-2,0	
	$5^\circ$	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	$10^\circ$	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	$20^\circ$	-0,7	-0,5	-0,8	-0,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,0
	$30^\circ$	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-1,0			-1,0
	$45^\circ$	+0,2	-0,5	-0,8	-0,8				
	$60^\circ$	+0,6	-0,5	-0,8	-0,8				
$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	$0^\circ$	-0,7	-0,6	-0,9	-0,7	-2,0	-2,0	-2,0	
	$5^\circ$	-0,7	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	$10^\circ$	-0,7	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	$20^\circ$	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,5	-1,5	-1,5	-1,2
	$30^\circ$	-1,0	-0,5	-0,8	-0,7	-1,5			
	$40^\circ$	-0,2	-0,5	-0,8	-0,7	-1,0			
	$50^\circ$	+0,2	-0,5	-0,8	-0,7				
	$60^\circ$	+0,5	-0,5	-0,8	-0,7				

- NOTAS:
- Para valores intermedios de  $\beta$  podrá interpolarse linealmente.
  - En aquellos casos en los que no se incluye el valor de  $C_{pe,l}$  deberá aplicarse el valor correspondiente de  $C_{pe}$ .
  - Zona afectada por presiones locales.

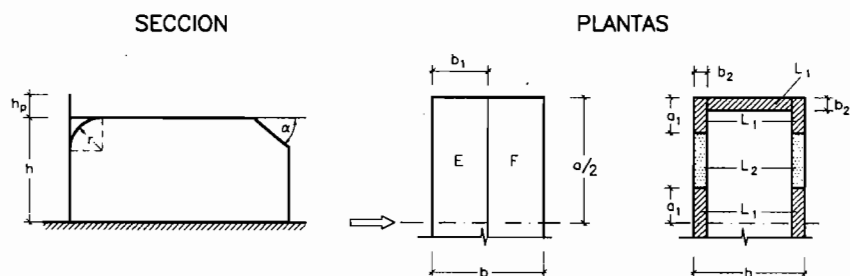
TABLA 3.2.2.2.3. COEFICIENTES EOLICOS DE PRESION EXTERIOR,  $C_{pe}$ , PARA CUBIERTAS A UN AGUA DE CONSTRUCCIONES DE PLANTA RECTANGULAR



INCLINACION DE LA CUBIERTA ( $\beta$ )	$C_{pe}$										$C_{pe,l}$				
	DIRECCION DEL VIENTO														
	$\alpha=0^\circ$		$\alpha=45^\circ$		$\alpha=90^\circ$		$\alpha=135^\circ$		$\alpha=180^\circ$						
	E,F	G,H	E,F	G,H	E,G	F,H	E,F	G,H	E,F	G,H					
5° a 10°	-1,0	-0,5	-1,0	-0,9	-1,0	-0,5	-0,9	-1,0	-0,5	-1,0	-2,0	-2,0	-1,5	-2,0	-1,5
15°	-0,9	-0,5	-1,0	-0,7	-1,0	-0,5	-0,6	-1,0	-0,3	-1,0	-2,0	-1,8	-0,9	-1,8	-1,4
20°	-0,8	-0,5	-1,0	-0,6	-0,9	-0,5	-0,5	-1,0	-0,2	-1,0	-2,0	-1,8		-1,8	-1,4
25°	-0,7	-0,5	-1,0	-0,6	-0,8	-0,5	-0,3	-0,9	-0,1	-0,9	-2,0	-1,8			
30°	-0,5	-0,5	-1,0	-0,6	-0,8	-0,5	-0,1	-0,6	0	-0,6	-2,0	-1,8			

- NOTAS:
- Para valores intermedios de  $\beta$  podrá interpolarse linealmente.
  - En aquellos casos en los que no se incluye el valor de  $C_{pe,l}$  deberá aplicarse el valor correspondiente de  $C_{pe}$ .
  - Zona afectada por presiones locales.

TABLA 3.2.2.2.4. COEFICIENTES EOLICOS DE PRESION EXTERIOR,  $C_{pe}$ , PARA CUBIERTAS PLANAS<sup>1)</sup> DE CONSTRUCCIONES DE PLANTA RECTANGULAR



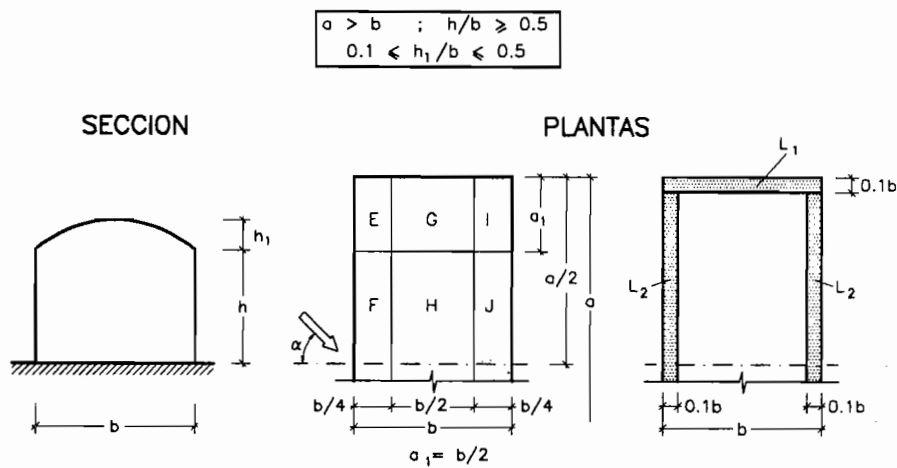
$a < 2h$	$b_1 = 0.5a$	$b_2 = 0.1a$	$a_1 = 0.25a$
$a > 2h$	$b_1 = h$	$b_2 = 0.2h$	$a_1 = 0.5h$

TIPO DE ALERO		$C_{pe}$		$C_{pe,l}$	
		E	F	$L_1$	$L_2$
RECTO		-0,7	$\pm 0,2$	-2,5	-2,0
CON PRETIL	$h_p/h = 0,025$	-0,7	$\pm 0,2$	-2,2	-1,8
	$h_p/h = 0,05$	-0,7	$\pm 0,2$	-2,0	-1,6
	$h_p/h = 0,10$	-0,7	$\pm 0,2$	-1,8	-1,4
CURVO	$r/h = 0,05$	-0,4	$\pm 0,2$	-1,5	-1,8
	$r/h = 0,10$	-0,3	$\pm 0,2$	-1,2	-1,4
	$r/h = 0,20$	-0,3	$\pm 0,2$	-0,8	-0,8
EN MANSARDA	$\alpha = 30^\circ$	-0,3	$\pm 0,2$	-1,5	-1,5
	$\alpha = 45^\circ$	-0,4	$\pm 0,2$	-1,8	-1,9
	$\alpha = 60^\circ$	-0,5	$\pm 0,2$	-1,9	-1,9

NOTAS: 1) A los efectos de esta tabla se considerarán cubiertas planas las que tengan una pendiente en el interior del intervalo  $-4^\circ \leq \beta \leq +4^\circ$ .

- Para cubiertas a un agua con una pendiente entre  $4^\circ$  y  $5^\circ$  los valores de los coeficientes eólicos podrán obtenerse por interpolación entre los correspondientes en esta tabla y los correspondientes a cubierta a un agua para  $\beta=5^\circ$  (Tabla 3.2.2.2.3).
- Para valores intermedios de  $h_p/h$  y  $r/h$  en cubiertas con pretil o con alero curvo podrá interpolarse linealmente.
- Para valores intermedios entre  $\alpha=30^\circ$  y  $60^\circ$  en cubierta plana con mansarda podrá interpolarse linealmente. Para valores de  $\alpha>60^\circ$  la interpolación se realizará entre los valores correspondientes a  $\alpha=60^\circ$  y los correspondientes a alero recto.
- En el área F deberán considerarse ambos valores positivos y negativos.
- Sobre las mansardas serán de aplicación los coeficientes eólicos locales correspondientes a cubiertas a dos aguas (Tabla 3.2.2.2.2) en función del ángulo que forma la mansarda.
- Sobre el alero curvo serán de aplicación los coeficientes eólicos resultado de la interpolación lineal a lo largo de la curva entre los valores correspondientes a la cubierta y a la pared.
- Zona afectada por presiones locales.

TABLA 3.2.2.5. COEFICIENTES EOLICOS DE PRESION EXTERIOR,  $C_{pe}$ , PARA CUBIERTAS CILINDRICAS CON DIRECTRIZ CIRCULAR, ELIPTICA O PARABOLICA, DE CONSTRUCCIONES DE PLANTA RECTANGULAR

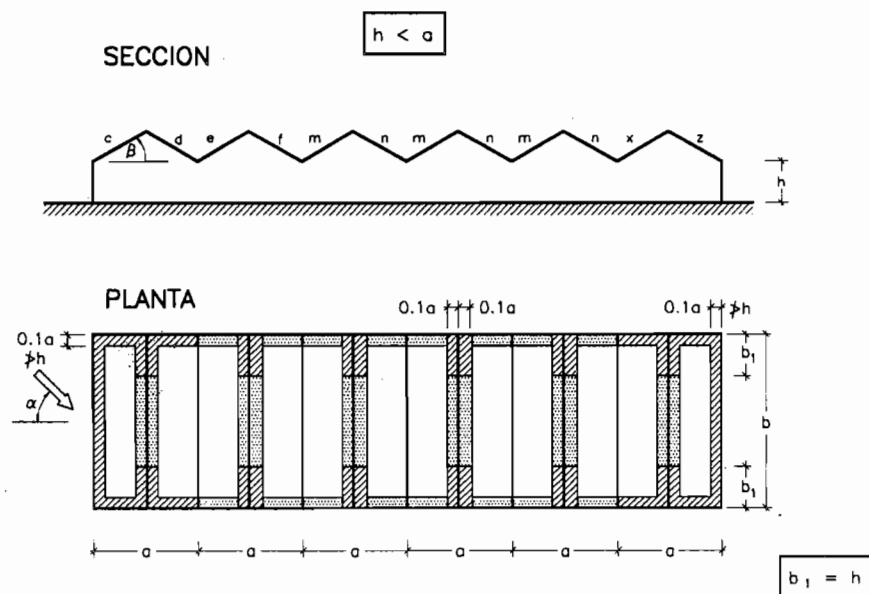


RELACIONES GEOMETRICAS DE LA CONSTRUCCION	$C_{pe}$					$C_{pe,l}$	
	DIRECCION DEL VIENTO						
	$\alpha = 0^\circ$			$\alpha = 90^\circ$			
	$h_1/b$	E,F	G,H	I,J	E,G,I	F,H,J	$L_1$
0,1	-0,9	-0,8	-0,5	-0,8	-0,6	-1,6	-1,8
0,2	-0,9 ó 0*	-0,9	-0,5	-0,8	-0,6	-1,6	-1,8
0,3	-0,3 ó +0,2*	-1,0	-0,5	-0,8	-0,6	-1,6	-0,6
0,4	+0,4	-1,1	-0,5	-0,8	-0,6	-1,6	
0,5	+0,7	-1,2	-0,5	-0,8	-0,6	-1,6	

- NOTAS: (\*) Debe considerarse el valor más desfavorable.
- En aquellos casos en los que no se incluye el valor de  $C_{pe,l}$  deberá aplicarse el valor correspondiente de  $C_{pe}$ .
  - Zona afectada por presiones locales.



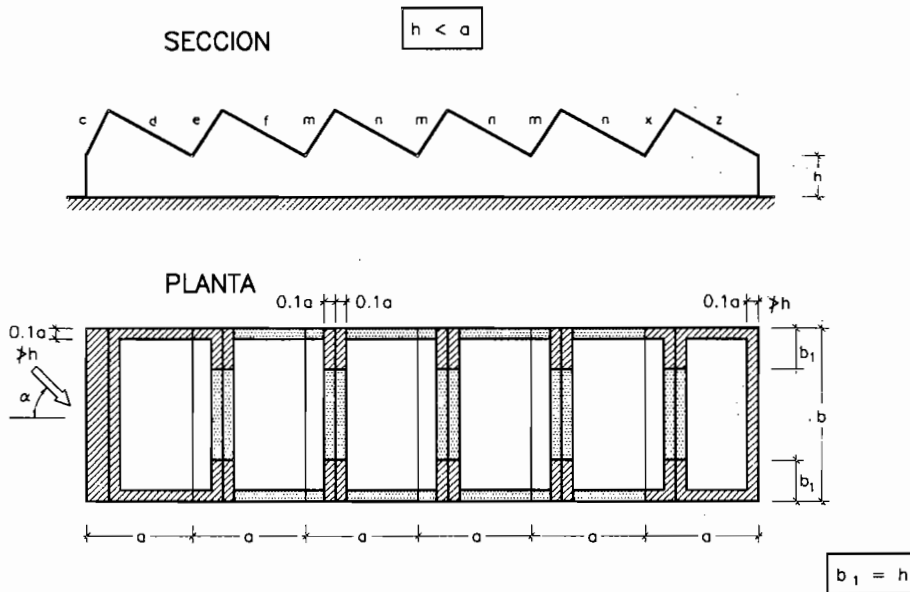
TABLA 3.2.2.2.6. COEFICIENTES EOLICOS DE PRESION EXTERIOR,  $C_{pe}$ , PARA CUBIERTAS MÚLTIPLES A DOS AGUAS DE CONSTRUCCIONES DE PLANTA RECTANGULAR (todos los vanos iguales)



		$C_{pe}$										$C_{pe,l}$	
		DIRECCION DEL VIENTO ( $\alpha = 0^\circ$ )							DIRECCION DEL VIENTO ( $\alpha = 90^\circ$ )				
INCLINACION DE LAS CUBIERTAS ( $\beta$ )	APLICADO EN CADA VERTIENTE							APLICADO POR BANDAS ( $\beta \leq 45^\circ$ )					
	c	d	e	f	m	n	x	z	$b_1$	$b_2$			$b_3$
5° a 10°	-1,1	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,8	-0,6	-0,2	-2,0	-1,5
20°	-0,7	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,5					
30°	-0,2	-0,6	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,5					
45°	+0,3	-0,6	-0,6	-0,4	-0,2	-0,4	-0,2	-0,5					

NOTAS: Zona afectada por presiones locales.

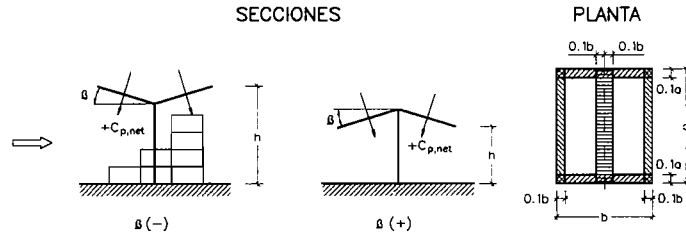
TABLA 3.2.2.2.7. COEFICIENTES EOLICOS DE PRESION EXTERIOR,  $C_{pe}$ , PARA CUBIERTAS MÚLTIPLES EN DIENTES DE SIERRA DE CONSTRUCCIONES DE PLANTA RECTANGULAR (todos los vanos iguales)



$C_{pe}$											$C_{pe,l}$	
APLICADO EN CADA VERTIENTE								APLICADO POR BANDAS				
c	d	e	f	m	n	x	z	DIRECCION DEL VIENTO ( $\alpha = 90^\circ$ )				
DIRECCION DEL VIENTO ( $\alpha = 0^\circ$ )								$b_1$	$b_2$	$b_3$		
+0,6	-0,7	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	-0,3	-0,8	-0,6	-0,2	-2,0	-1,5
DIRECCION DEL VIENTO ( $\alpha = 180^\circ$ )												
-0,5	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,6	-0,1					

NOTAS: Zona afectada por presiones locales.

TABLA 3.2.2.8. COEFICIENTES EOLICOS DE PRESION NETOS,  $C_{p,net}$ , PARA CUBIERTAS AISLADAS A DOS AGUAS EN CONSTRUCCIONES SIN PAREDES LATERALES PERMANENTES



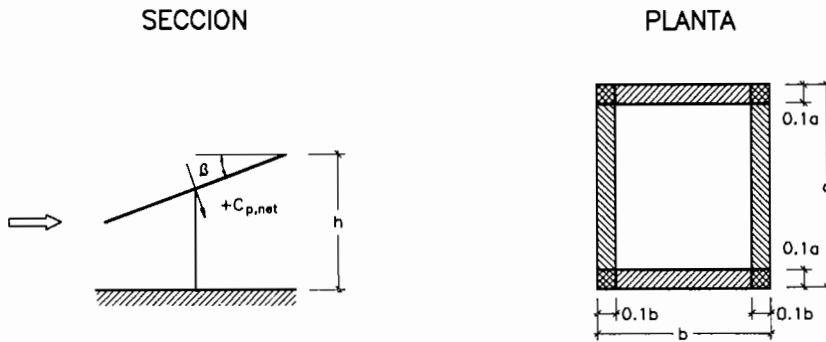
$$0.25 \leq \frac{h}{b} < 1 \quad 3b > a > b$$

	INCLINACION DE LA CUBIERTA ( $\beta$ )	FACTOR DE OPACIDAD <sup>1)</sup> ( $\phi$ )	COEFICIENTES EOLICOS NETOS MAXIMOS Y MINIMOS <sup>2)</sup>				
			$C_{p,net}$	$C_{p,net}$ : (presiones locales)			
VALORES MAXIMOS	-20°	TODOS LOS VALORES DE $\phi$	+0,7	+0,8	+1,6	+0,6	+1,7
	-15°		+0,5	+0,6	+1,5	+0,7	+1,4
	-10°		+0,4	+0,6	+1,4	+0,8	+1,1
	-5°		+0,3	+0,5	+1,5	+0,8	+0,8
	+5°		+0,3	+0,6	+1,8	+1,3	+0,4
	+10°		+0,4	+0,7	+1,8	+1,4	+0,4
	+15°		+0,4	+0,9	+1,9	+1,4	+0,4
	+20°		+0,6	+1,1	+1,9	+1,5	+0,4
	+25°		+0,7	+1,2	+1,9	+1,6	+0,5
	+30°		+0,9	+1,3	+1,9	+1,6	+0,7
VALORES MINIMOS	-20°	$\phi=0$	-0,7	-0,9	-1,3	-1,6	-0,6
		$\phi=1$	-0,9	-1,2	-1,7	-1,9	-1,2
	-15°	$\phi=0$	-0,6	-0,8	-1,3	-1,6	-0,6
		$\phi=1$	-0,8	-1,1	-1,7	-1,9	-1,2
	-10°	$\phi=0$	-0,6	-0,8	-1,3	-1,5	-0,6
		$\phi=1$	-0,8	-1,1	-1,7	-1,9	-1,3
	-5°	$\phi=0$	-0,5	-0,7	-1,3	-1,6	-0,6
		$\phi=1$	-0,8	-1,5	-1,7	-1,9	-1,4
	+5°	$\phi=0$	-0,6	-0,6	-1,4	-1,4	-1,1
		$\phi=1$	-0,9	-1,3	-1,8	-1,8	-2,1
+10°	$\phi=0$	-0,7	-0,7	-1,5	-1,4	-1,4	
	$\phi=1$	-1,1	-1,4	-2,0	-1,8	-2,4	
+15°	$\phi=0$	-0,8	-0,9	-1,7	-1,4	-1,8	
	$\phi=1$	-1,2	-1,5	-2,2	-1,9	-2,8	
+20°	$\phi=0$	-0,9	-1,2	-1,8	-1,4	-2,0	
	$\phi=1$	-1,3	-1,7	-2,3	-1,9	-3,0	
+25°	$\phi=0$	-1,0	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0	
	$\phi=1$	-1,4	-1,9	-2,4	-2,1	-3,0	
+30°	$\phi=0$	-1,0	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0	
	$\phi=1$	-1,4	-2,1	-2,6	-2,2	-3,0	

NOTAS:

- 1) Se define como factor de opacidad ( $\phi$ ) al cociente entre el área de posible obstrucción bajo la cubierta (p.e. mercancías almacenadas) y el área bruta bajo la cubierta, ambas medidas en la dirección normal al viento. Por tanto,  $\phi=0$  representa que bajo la cubierta no hay obstrucciones, y por el contrario  $\phi=1$  representa una construcción completamente bloqueada hasta el alero. Valores de  $C_{p,net}$  correspondientes a factores de opacidad intermedios podrán obtenerse por interpolación lineal entre los dos extremos señalados, siendo de aplicación únicamente para el área a barlovento de la posición de máximo bloqueo. A estos efectos, a sotavento de la posición de máximo bloqueo se considerará siempre  $\phi=0$ .
- 2) Cada vertiente de la cubierta deberá ser calculada para resistir las fuerzas resultantes usando indistintamente los coeficientes eólicos netos máximos y mínimos. A su vez, la totalidad de la cubierta deberá ser proyectada para resistir las fuerzas resultantes aplicando en una vertiente el coeficiente eólico máximo y en la otra el mínimo. A estos efectos se considerará que el centro de presiones coincide con el centro de cada vertiente.
- 3) Para el proyecto de este tipo de construcciones deberán generalmente tenerse en cuenta adicionalmente la fuerza total de presión asociada al área efectiva de la cubierta expuesta al viento, tomando  $C_f=1.3$ , (Ver apartado 3.2.2.3.1) y las fuerzas de rozamiento (Ver apartado 3.2.2.3.2).

TABLA 3.2.2.2.9. COEFICIENTES EOLICOS DE PRESION NETOS,  $C_{p,net}$  PARA CUBIERTAS AISLADAS A UN AGUA EN CONSTRUCCIONES SIN PAREDES LATERALES PERMANENTES

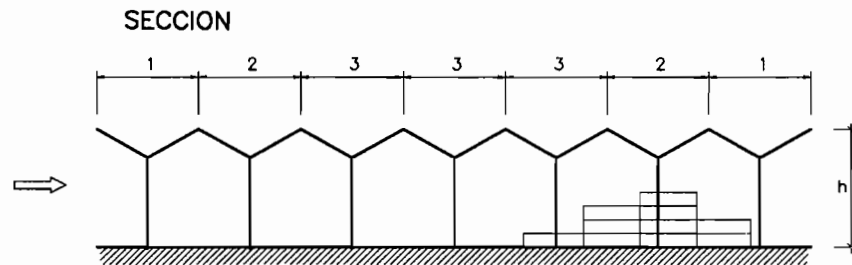


$$0.25 \leq \frac{h}{b} < 1 \quad 3b > a > b$$

	INCLINACION DE LA CUBIERTA ( $\beta$ )	FACTOR DE OPACIDAD ( $\phi$ )	COEFICIENTES EOLICOS NETOS MAXIMOS Y MINIMOS			
			$C_{p,net}$	$C_{p,net,l}$ (presiones locales)		
VALORES MAXIMOS	0°	TODOS LOS VALORES DE $\phi$	+0,2	+0,5	+1,8	+1,1
	5°		+0,4	+0,8	+2,1	+1,3
	10°		+0,5	+1,2	+2,4	+1,6
	15°		+0,7	+1,4	+2,7	+1,8
	20°		+0,8	+1,7	+2,9	+2,1
	25°		+1,0	+2,0	+3,1	+2,3
	30°		+1,2	+2,2	+3,2	+2,4
VALORES MINIMOS	0°	$\phi=0$	-0,5	-0,6	-1,3	-1,4
		$\phi=1$	-1,0	-1,2	-1,8	-1,9
	5°	$\phi=0$	-0,7	-1,1	-1,7	-1,8
		$\phi=1$	-1,1	-1,6	-2,2	-2,3
	10°	$\phi=0$	-0,9	-1,5	-2,0	-2,1
		$\phi=1$	-1,3	-2,1	-2,6	-2,7
	15°	$\phi=0$	-1,1	-1,8	-2,4	-2,5
		$\phi=1$	-1,4	-2,3	-2,9	-3,0
	20°	$\phi=0$	-1,3	-2,2	-2,8	-2,9
		$\phi=1$	-1,5	-2,6	-3,1	-3,2
	25°	$\phi=0$	-1,6	-2,6	-3,2	-3,2
		$\phi=1$	-1,7	-2,8	-3,5	-3,5
	30°	$\phi=0$	-1,8	-3,0	-3,8	-3,6
		$\phi=1$	-1,8	-3,0	-3,8	-3,6

NOTAS: Deberán tomarse en consideración las notas de la tabla 3.2.2.2.8. No obstante, en este caso deberá considerarse que el centro de presiones esta situado a una distancia igual a 0.3b medida desde el borde de barlovento de la construcción.

TABLA 3.2.2.2.10. COEFICIENTES EOLICOS DE PRESION NETOS,  $C_{p,net}$ , PARA CUBIERTAS AISLADAS MULTIPLES A DOS AGUAS EN CONSTRUCCIONES SIN PAREDES LATERALES PERMANENTES (todas las crujías iguales)



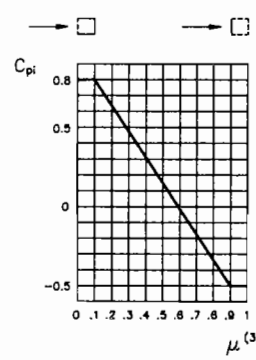
LAS FUERZAS DE PRESION SOBRE CADA UNA DE LAS VERTIENTES DE CUBIERTAS AISLADAS MULTIPLES SE DETERMINARAN APLICANDO LOS FACTORES SIGUIENTES A LOS COEFICIENTES  $C_{p,net}$  CORRESPONDIENTES A CUBIERTAS AISLADAS A DOS AGUAS (Ver tabla 3.2.2.2.8).

CRUJIA	SITUACION	PARA TODOS LOS VALORES DE $\phi$	
		Para coeficiente $C_{p,net}$ máximo	Para Coeficiente $C_{p,net}$ mínimo
1	Crujías de los extremos	1,00	0,81
2	Segunda crujía de cada extremo	0,87	0,64
3	Tercera crujía y siguientes	0,68	0,63

TABLA 3.2.2.2.11. COEFICIENTES EOLICOS DE PRESION EXTERIOR,  $C_{p,e}$ , PARA PAREDES LATERALES EN CONSTRUCCIONES DE PLAN-TA EN L, T e Y

PLANTA	$C_{p,e}$					
	A	B	C	D	E	F
	+0,8	-0,5	-1,3	+0,8	-0,6	+0,8
	+0,8	-0,5	-1,3	+0,8	+0,8	+0,8
	+0,9	-0,6	-1	-0,75	-0,75	—
	+0,8	—	0	-1	-0,5	—

**TABLA 3.2.2.2.12. COEFICIENTES EOLICOS DE PRESION INTERIOR,  $C_{pi}$ , EN CONSTRUCCIONES NO ESTANCAS<sup>1)</sup> DE PLANTA RECTANGULAR NO COMPARTIMENTADAS INTERIORMENTE**

TIPO DE CONSTRUCCION	$C_{p,i}$
1. CONSTRUCCIONES EN LAS QUE ES POCO PROBABLE LA EXISTENCIA DE ABERTURAS EN LAS PAREDES DURANTE LA ACTUACION DEL VIENTO DE PROYECTO	+0,2 ó -0,3 <sup>2)</sup>
2. CONSTRUCCIONES CON ABERTURAS EN LAS PAREDES DURANTE LA ACTUACION DEL VIENTO DE PROYECTO	
2.1. CON ABERTURAS UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDAS ENTRE TODAS LAS PAREDES	-0,30
2.2. CON ABERTURAS NO UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDAS ENTRE TODAS LAS PAREDES ( <i>salvo tipo de construcción 2.3.</i> )	
2.3. CON ABERTURAS EN UNA SOLA PARED O, SI EXISTEN EN VARIAS, EN UNA SEAN PREDOMINANTES <sup>4)</sup>	$0,75 \cdot C_{pe}$ siendo $C_{pe}$ el coeficiente eólico exterior correspondiente a la pared que contiene las aberturas predominantes <sup>5)</sup>

- NOTAS:**
- 1) Se considerará que una construcción es no estanca si alguna de las paredes exteriores de la misma tiene un porcentaje de aberturas superior al 5% respecto del área total de la misma, o si posee una permeabilidad equivalente al aire.
  - 2) Debe considerarse el valor que sea más desfavorable en cada caso.
  - 3)  $\mu$  (*Factor de Abertura*) =  $\frac{\sum \text{Area de las aberturas situadas en la pared de sotavento y en las paredes laterales paralelas a la dirección del viento}}{\sum \text{Area de las aberturas situadas en todas las paredes}}$ .
  - 4) Se considerará que las aberturas en una pared son predominantes si la razón entre el área de aberturas en dicha pared y la suma de áreas del resto de aberturas es superior a 10.
  - 5) En aquellos casos en los que la abertura predominante esté situada en una zona afectada por un coeficiente eólico local  $C_{pe,l}$ , se considerará éste para la determinación del coeficiente eólico interior correspondiente.

TABLA 3.2.2.2.13. COEFICIENTES EOLICOS DE PRESION EXTERIOR,  $C_{pe}$ , PARA CONSTRUCCIONES CILINDRICAS (para viento actuando perpendicularmente al eje del cilindro)

$\theta$	Superficie rugosa		Superficie lisa	
	$h/b=10$	$h/b \leq 2,5$	$h/b=10$	$h/b \leq 2,5$
0°	+1,0	+1,0	+1,0	+1,0
10°	+0,9	+0,9	+0,9	+0,9
20°	+0,7	+0,7	+0,7	+0,7
30°	+0,4	+0,4	+0,35	+0,35
40°	0	0	0	0
50°	-0,5	-0,4	-0,7	-0,5
60°	-0,95	-0,8	-1,2	-1,05
70°	-1,25	-1,1	-1,4	-1,25
80°	-1,2	-1,05	-1,45	-1,3
90°	-1,0	-0,85	-1,4	-1,2
100°	-0,8	-0,65	-1,1	-0,85
120°	-0,5	-0,35	-0,6	-0,4
140°	-0,4	-0,3	-0,35	-0,25
160°	-0,4	-0,3	-0,35	-0,25
180°	-0,4	-0,3	-0,35	-0,25

- NOTAS:**
- Los coeficientes incluidos en esta tabla son aplicables tanto a construcciones cilíndricas de eje vertical (p.e. silos o chimeneas) como de eje horizontal (p.e. tanques) siempre y cuando la distancia entre el suelo y la generatriz inferior del cilindro sea mayor que el diámetro del mismo.
  - Los coeficientes incluidos en esta tabla serán de aplicación únicamente para el caso de flujo de aire en régimen supercrítico [ $\overline{V}_v \cdot b \geq 6 \text{ m}^2/\text{s}$ ]. Para las velocidades usuales de proyecto esta condición se cumple para construcciones con  $b > 0.3 \text{ m}$ .
  - Para valores intermedios de  $h/b$  podrá interpolarse linealmente.
  - En aquellos casos en que haya circulación de aire alrededor de los extremos de la construcción cilíndrica, deberá tomarse el valor de la esbeltez correspondiente a la mitad de  $h$ .
  - Si la construcción cilíndrica tiene alguno de sus extremos abiertos podrán considerarse los siguientes coeficientes eólicos de presión interior.

$$C_{pi}]_{h/b \geq 0.3} = -0.8$$

$$C_{pi}]_{h/b < 0.3} = -0.5$$

**LEYENDA:**  $h$ : Altura de la construcción cilíndrica vertical o longitud de la construcción cilíndrica horizontal.  
 $b$ : Diámetro de la construcción cilíndrica.

### 3.2.2.3. ACCION DEL VIENTO SOBRE UNA ESTRUCTURA. FUERZAS TOTALES

#### 3.2.2.3.1. FUERZA TOTAL DE PRESION

La carga total del viento sobre un elemento estructural o sobre la totalidad de una estructura o instalación, resultante de las fuerzas de presión que actúan en sus diferentes elementos superficiales, también podrá calcularse mediante la formulación siguiente:

$$R_v = C_f \cdot q_{v,t}(z) \cdot A_e \quad [3.2.9]$$

siendo:

$R_v$ : Fuerza resultante de presión.  
La dirección de actuación de esta fuerza no tiene por qué coincidir con la dirección de actuación del viento. En cada caso deberá definirse el punto de aplicación y la dirección de la resultante. Usualmente estos parámetros se definen asociados al coeficiente eólico de fuerza  $C_f$  correspondiente, suministrándose conjuntamente con éste. (Ver tablas 3.2.2.3.2 a 3.2.2.3.7)

$C_f$ : Factor de Forma o Coeficiente Eólico de Fuerza correspondiente a la estructura analizada (*Adimensional*). Este Coeficiente es variable en función de la dirección de actuación del viento. Habitualmente se dispone únicamente de los coeficientes correspondientes a viento actuando en las direcciones de los ejes principales del elemento o estructura analizada. No obstante, a partir de dichos coeficientes también podrá en algunos casos determinarse la fuerza resultante para viento actuando en cualquier dirección por medio de la formulación [3.2.10] a [3.2.13].

Los valores de los Coeficientes Eólicos de Fuerza podrán obtenerse de los Códigos y Normas vigentes, nacionales e internacionales, correspondientes a la acción del viento sobre las estructuras<sup>44</sup>). No obstante, para los casos más generales que se presentan en las obras marítimas y portuarias estos coeficientes pueden obtenerse en las tablas 3.2.2.3.2. a 3.2.2.3.7. de esta Recomendación.

$q_{v,t}(z)$ : Presión dinámica asociada a la velocidad del viento considerada para las condiciones específicas de proyecto [ $V_{v,t}(z)$ ].

$A_e$ : Area frontal efectiva asociada a  $C_f$ . Generalmente coincide con el área proyección de la estructura sobre un plano normal a la dirección de actuación del viento.

En aquellos casos en que sea necesario tomar en consideración la variación del perfil de velocidades del viento con la altura (Ver apartado 3.2.1.2.1), la fuerza resultante de presión podrá obtenerse como sumatorio de las resultantes parciales obtenidas al dividir el área frontal efectiva en tramos de presión dinámica constante. El coeficiente  $C_f$  a aplicar en cada tramo será el mismo y coincidente con el correspondiente a la estructura considerada globalmente.

Cuando únicamente se disponga de los factores de forma correspondientes a viento actuando en las direcciones de los ejes principales del elemento o estructura analizada, la determinación de la fuerza resultante para viento actuando en cualquier dirección  $\alpha$  podrá llevarse a cabo por medio del siguiente método simplificado, siempre que la altura del elemento estructural analizado sea pequeña ( $\leq 30$  m), la estructura o instalación sea predominantemente maciza, prácticamente simétrica aunque no con simetría radial, y esté situada en áreas de Categoría I de rugosidad superficial (Ver figura 3.2.2.3.1):

$$R_v = \sqrt{R_{vx}^2 + R_{vy}^2} \quad [3.2.10]$$

donde:

$$R_{vx} = (C_{fx} \cdot \cos\alpha) \cdot q_{v,t} \cdot A_{ex} \quad [3.2.11]$$

$$R_{vy} = (C_{fy} \cdot \sen\alpha) \cdot q_{v,t} \cdot A_{ey} \quad [3.2.12]$$

siendo:

$R_v$ : Fuerza resultante de presión.

$R_{vx}$ : Componente según la dirección del eje x de la fuerza resultante.

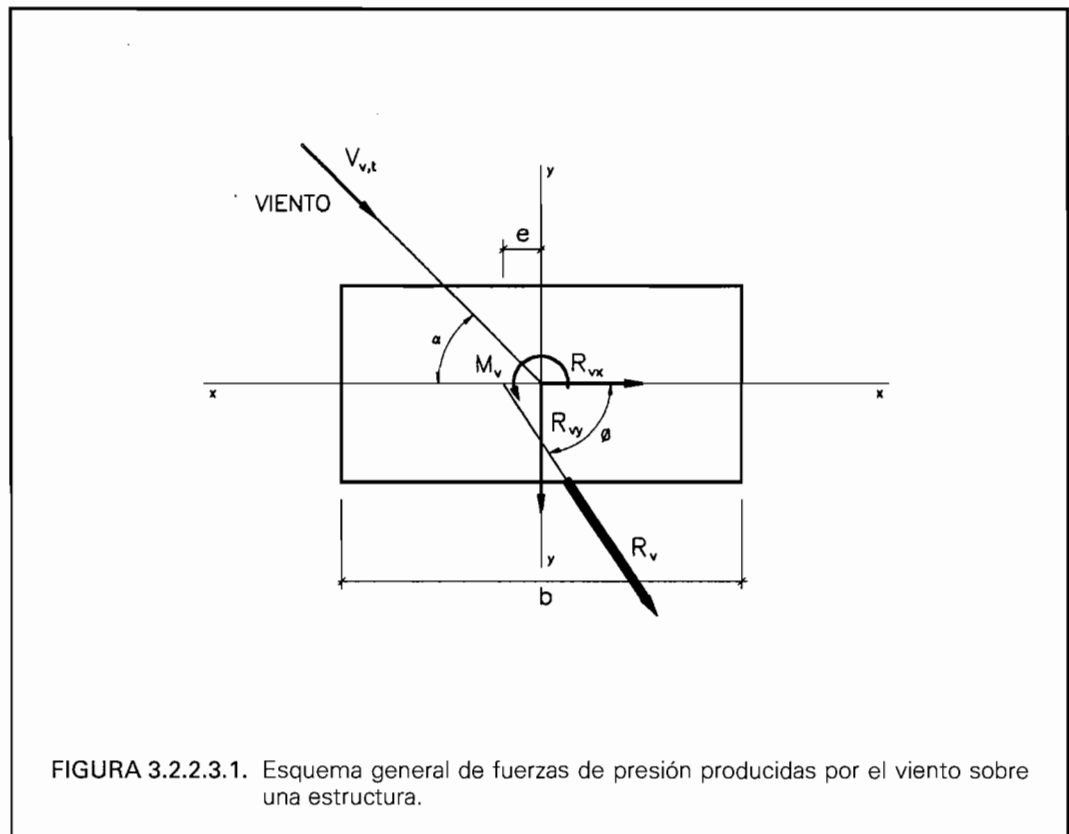


- $R_{vy}$ : Componente según la dirección del eje y de la fuerza resultante.
- $C_{fx}$ : Coeficiente de forma para el viento actuando en la dirección del eje x.
- $C_{fy}$ : Coeficiente de forma para el viento actuando en la dirección del eje y.
- $\alpha$ : Angulo formado entre el eje x y la dirección de actuación del viento.
- $q_{v,t}$ : Presión dinámica asociada a la velocidad del viento considerada para las condiciones específicas de proyecto.
- $A_{ex}$ : Area efectiva de la estructura sobre un plano normal al eje x.
- $A_{ey}$ : Area efectiva de la estructura sobre un plano normal al eje y.
- x: Eje principal mayor.

En estos casos, deberá considerarse que la fuerza resultante no pasa por el centro de gravedad de la estructura sino a una distancia (e) del mismo, dando lugar a un momento resultante de torsión ( $M_v$ ) aplicado sobre el eje que pasa por el centro de gravedad de la estructura, de valor:

$$M_v = e \cdot R_v \quad [3.2.13]$$

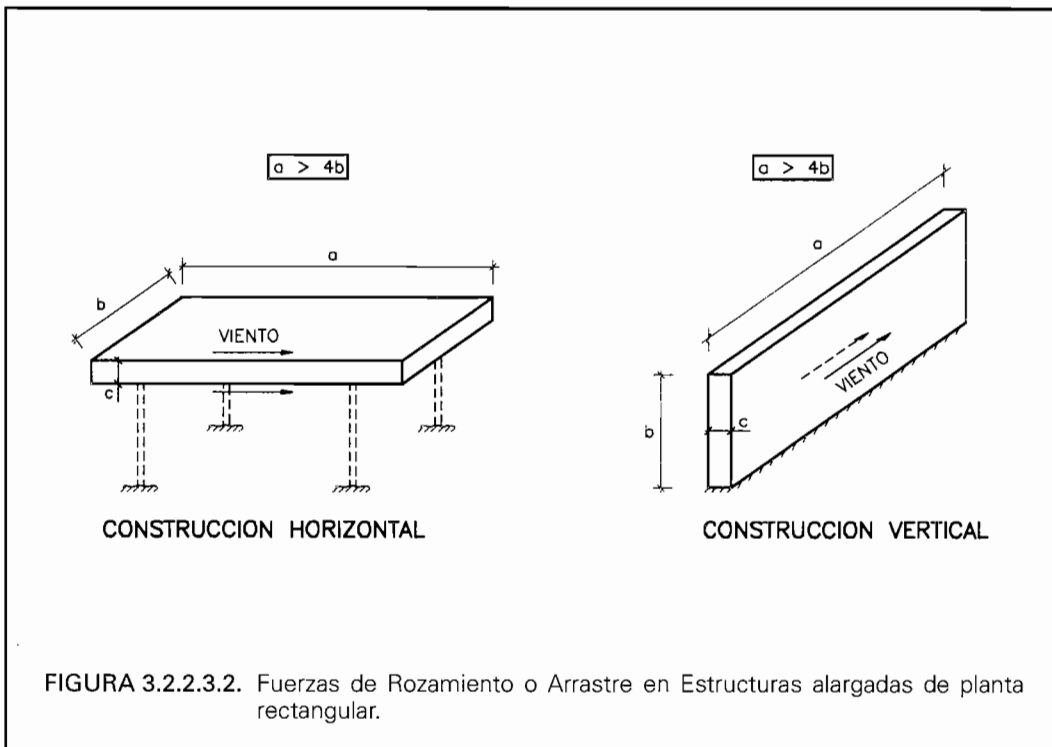
A estos efectos y a falta de otros datos, se recomienda considerar una excentricidad mínima  $e = 0.1b$ , siendo b la dimensión de la sección transversal de la estructura en la dirección del eje principal mayor.



### 3.2.2.3.2. FUERZA TOTAL DE ROZAMIENTO

En aquellos elementos estructurales o instalaciones con grandes superficies en la dirección de actuación del viento será necesario tomar en consideración la existencia de fuerzas de rozamiento o arrastre producidas por el viento ( $R_{vr}$ ).

Estas fuerzas deberán tenerse en cuenta únicamente en construcciones horizontales y verticales alargadas en la dirección de actuación del viento, y especialmente en aquellas con alta capacidad de flexión en dicha dirección (p.e. construcciones sin paredes laterales permanentes: marquesinas, tinglados,...; plataformas sobre pilotes;...). A estos efectos, estructuras con planta rectangular se considerarán alargadas cuando  $a/b > 4$ , siendo (a) la dimensión de la estructura en la dirección del viento y (b) la mayor dimensión de la misma perpendicularmente a la dirección del viento. (Ver figura 3.2.2.3.2).



La carga total del viento sobre un elemento individual o sobre la totalidad de una estructura o instalación resultante de las fuerzas de rozamiento que actúan en sus diferentes elementos superficiales, podrá calcularse mediante la formulación siguiente:

$$R_{vr} = C_{fr} \cdot q_{v,t}(z) \cdot A_{er} \quad [3.2.14]$$

siendo:

$R_{vr}$ : Fuerza resultante de Rozamiento o Arrastre.  
La dirección de actuación de la fuerza coincide con la dirección de actuación del viento.

$C_{fr}$ : Coeficiente Eólico de Rozamiento o Arrastre correspondiente a la estructura analizada (*Adimensional*).  
Este coeficiente es función de la forma y de la rugosidad superficial de la estructura analizada.

Los valores de los Coeficientes Eólicos de Rozamiento podrán obtenerse de los Códigos y Normas vigentes, nacionales e internacionales, correspondientes a la acción del viento sobre las estructuras<sup>44</sup>. Para estructuras planas de planta rectangular podrán utilizarse los coeficientes de la tabla 3.2.2.3.1.

$q_{v,t}(z)$ : Presión dinámica asociada a la velocidad de viento considerada para las condiciones específicas de proyecto [ $V_{v,t}(z)$ ].

$A_{er}$ : Área efectiva de rozamiento de la estructura en la dirección de actuación del viento. Para estructuras planas exentas de planta rectangular se tomará (*Ver figura 3.2.2.3.2.*):

– En construcciones horizontales:

$$A_{er} = 2 \cdot b \cdot (a - 4b) + 2 \cdot c \cdot (a - 4b) \quad \neq 0 \quad [3.2.15]$$

– En construcciones verticales:

$$A_{er} = 2 \cdot b \cdot (a - 4b) + c \cdot (a - 4b) \quad \neq 0 \quad [3.2.16]$$

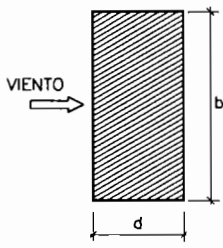
Para estructuras planas no exentas, las fórmulas [3.2.15] y [3.2.16] deberán adaptarse convenientemente tomando en consideración únicamente aquellas superficies expuestas a la acción del viento.

Cuando sea necesario tomar en consideración la variación del perfil de velocidades del viento con la altura o la estructura considerada tenga características superficiales no homogéneas, la fuerza resultante de rozamiento podrá obtenerse como sumatorio de las resultantes parciales obtenidas al dividir el área efectiva de rozamiento de la estructura en la dirección de actuación del viento en tramos de presión dinámica constante y/o características superficiales homogéneas. En cada tramo de características superficiales homogéneas será de aplicación el coeficiente  $C_{fr}$  que le corresponda.

**TABLA 3.2.2.3.1. COEFICIENTES EOLICOS DE ROZAMIENTO O ARRASTRE PARA ESTRUCTURAS PLANAS DE PLANTA RECTANGULAR**

<i>TIPO DE SUPERFICIE</i>	$C_{fr}$
– Superficies lisas sin nervaduras o ondulaciones en la dirección del viento ( <i>p.e. acero u hormigón liso</i> )	0.01
– Superficies rugosas u onduladas en la dirección del viento ( <i>p.e. hormigón rugoso u hormigón asfáltico</i> )	0.02
– Superficies muy rugosas o con grandes ondulaciones o nervaduras en la dirección del viento	0.04

**TABLA 3.2.2.3.2. COEFICIENTES EOLICOS DE FUERZA,  $C_f$ , PARA CONSTRUCCIONES MACIZAS PRISMATICAS DE SECCION RECTANGULAR UNIFORME Y EJE VERTICAL (viento actuando en la dirección de los ejes principales)**

PLANTA	b/d	ESBELTEZ $\lambda = h/b$							
		$\leq 0,5$	1	2	4	6	10	20	$\infty$
	1/4	0,70	0,70	0,75	0,75	0,75	0,80	0,90	1,20
	1/3	0,70	0,75	0,75	0,75	0,80	1,00	1,10	1,30
	1/2	0,75	0,75	0,80	0,85	0,90	1,20	1,30	1,60
	2/3	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,30	1,50	1,80
	1	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,20	1,40	2,10
	1,5	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,60	2,00	2,40
	2	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,60	2,00	2,30
	3	1,10	1,20	1,25	1,35	1,40	1,70	1,90	2,20
	4	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	2,10

**NOTAS:**

1. Se considerará que la fuerza de presión resultante tiene la dirección del viento.
2. La esbeltez  $\lambda$  o relación  $h/b$  se refiere a la cara de la construcción perpendicular a la dirección del viento.
3. Los coeficientes  $C_f$  incluidos en esta tabla son directamente aplicables para construcciones sobre el suelo o sobre otra construcción con una superficie suficientemente extensa que dé lugar a condiciones de contorno semejantes a las del suelo. Si la construcción está limitada superiormente por otra construcción de superficie suficientemente extensa (*p.e. plataforma elevada sobre pilares*) podrá aplicarse esta tabla tomándose como esbeltez  $\lambda$  la correspondiente a la mitad de la altura. Asimismo, si la construcción está confinada por dos construcciones de superficie suficientemente extensa deberá considerarse esbeltez  $\infty$ .
4. Aunque esta tabla es para construcciones macizas, también es admisible su aplicación para construcciones abiertas superiormente (*p.e. chimeneas*) siempre que su esbeltez sea superior a 10.

**LEYENDA:**

b = Dimensión horizontal de la construcción normal a la dirección del viento.  
d = Dimensión horizontal de la construcción medida en la dirección del viento.  
h = Altura de la construcción.

TABLA 3.2.2.3.3. COEFICIENTES EOLICOS DE FUERZA,  $C_f$ , PARA DIVERSAS CONSTRUCCIONES MACIZAS PRISMATICAS DE SECCION UNIFORME Y EJE VERTICAL


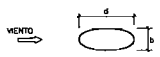
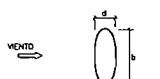
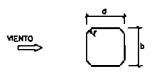
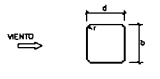
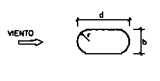
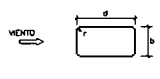
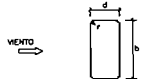
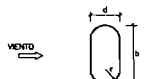









PLANTA		$\bar{V}_v \cdot b^{(3)}$ ( $m^2/s$ )	ESBELTEZ $\lambda = h/b^{(2)}$						
			$\leq 0,5$	1	2	5	10	20	$\infty$
	CUALQUIER SUPERFICIE	$< 6$	0,70	0,70	0,70	0,8	0,9	1,0	1,2
	SUPERFICIE RUGOSA	$\geq 6$							
	SUPERFICIE LISA	$\geq 6$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
	$b/d=1/2$	$< 10$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7
		$\geq 10$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	$b/d=2$	$< 8$	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,7
		$\geq 8$	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5
	$b/d=1$ $r/b=1/3$	$< 4$	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0
		$\geq 4$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
	$b/d=1$ $r/b=1/6$	$< 10$	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,3
		$\geq 10$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
	$b/d=1/2$ $r/b=1/2$	$< 3$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
		$\geq 3$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
	$b/d=1/2$ $r/b=1/6$	CUALQUIER VALOR	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7
	$b/d=2$ $r/b=1/12$	CUALQUIER VALOR	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5	1,9
	$b/d=2$ $r/b=1/4$	$< 6$	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,2	1,6
		$\geq 6$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6

TABLA 3.2.2.3.3. (Continuación)

PLANTA	$\overline{V}_v \cdot b^{(3)}$ (m <sup>2</sup> /s)	ESBELTEZ $\lambda = h/b$ <sup>(2)</sup>						
		$\leq 0,5$	1	2	5	10	20	$\infty$
 $r/a=1/3$	<10	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5
	$\geq 10$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
 $r/a=1/12$	CUALQUIER VALOR	0,9	0,9	0,9	1,1	1,2	1,3	1,6
 $r/a=1/48$	CUALQUIER VALOR	0,9	0,9	0,9	1,1	1,2	1,3	1,6
 $r/b=1/4$	<11	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
	$\geq 11$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
 $r/b=1/12$	CUALQUIER VALOR	0,8	0,8	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4
 $r/b=1/48$	CUALQUIER VALOR	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3
 $r/b=1/4$	<8	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3
	$\geq 8$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
 $1/48 < r/b < 1/12$	CUALQUIER VALOR	1,2	1,2	1,2	1,4	1,6	1,7	2,1
 DODECAGONO	<12	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3
	$\geq 12$	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,1

**NOTAS:**

1. Se considerará que la fuerza de viento resultante tiene la dirección del viento.
2. La esbeltez  $\lambda$  o relación  $h/b$  se refiere a la cara de la construcción perpendicular a la dirección del viento.
3.  $Re = \overline{V}_v \cdot b/\nu$ , siendo  $Re$  el número de Reynolds y  $\nu$  la viscosidad cinemática del aire ( $\nu = 1,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ). Por tanto, el parámetro  $\overline{V}_v \cdot b$  es un indicador de las características del flujo de aire a través de la construcción.
4. Para aquellos casos en que el valor de los coeficientes es función de las características del flujo de aire a través de la construcción, se recomienda tomar en consideración valores de  $\overline{V}_v$  menores que los correspondientes al Estado de Viento de proyecto, ya que eventualmente podrían dar lugar a fuerzas mayores.
5. Serán de aplicación a esta tabla las Notas 3 y 4 de la tabla 3.2.2.3.2.

**LEYENDA:**

$h$  = Altura de la construcción.

**TABLA 3.2.2.3.4. COEFICIENTES EOLICOS DE FUERZA ( $C_{fx}$  y  $C_{fy}$ ) PARA ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CARAS PLANAS Y ESBELTEZ INFINITA ( $\lambda=\infty$ ) (viento actuando perpendicularmente al eje longitudinal del elemento estructural)**

$\alpha$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$
0°	+1,9	+0,95	+1,8	+1,8	+1,75	+0,1	+1,6	0	+2,0	0	+2,05	0
45°	+1,8	+0,8	+2,1	+1,8	+0,85	+0,85	+1,5	-0,1	+1,2	+0,9	+1,85	+0,6
90°	+2,0	+1,7	-1,9	-1,0	+0,1	+1,75	-0,95	+0,7	-1,6	+2,15	0	+0,6
135°	-1,8	-0,1	-2,0	+0,3	-0,75	+0,75	-0,5	+1,05	-1,1	+2,4	-1,6	+0,4
180°	-2,0	+0,1	-1,4	-1,4	-1,75	-0,1	-1,5	0	-1,7	$\pm 2,1$	-1,8	0

$\alpha$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$	$C_{fx}$	$C_{fy}$
0°	+1,4	0	+2,05	0	+1,6	0	+2,0	0	+2,1	0	+2,0	0
45°	+1,2	+1,6	+1,95	+0,6	+1,5	+1,5	+1,8	+0,1	+1,4	+0,7	+1,55	+1,55
90°	0	+2,2	+0,5	+0,9	0	+1,9	0	+0,1	0	+0,75	0	+2,0

**LEYENDA:**

$R_{vx}$ : Componente según la dirección del eje x de la fuerza resultante de presión de viento.  $R_{vx} = C_{fx} \cdot q \cdot l \cdot b$

$R_{vy}$ : Componente según la dirección del eje y de la fuerza resultante de presión de viento.  $R_{vy} = C_{fy} \cdot q \cdot l \cdot b$

l: Dimensión longitudinal del elemento estructural.

**NOTAS:**

- Las fuerzas  $R_{vx}$  y  $R_{vy}$  pueden considerarse uniformemente distribuidas a lo largo del eje longitudinal del elemento estructural.
- Los signos más o menos de los coeficientes eólicos de fuerza indican respectivamente que las fuerzas resultantes tienen igual sentido o sentido contrario que el indicado en las figuras.
- Para elementos estructurales de esbeltez finita podrán utilizarse los coeficientes eólicos de fuerza incluidos en esta tabla multiplicándolos por un factor de reducción k. El factor k puede obtenerse de la tabla adjunta para elementos estructurales de caras planas o de sección circular en función de la esbeltez  $\lambda = l / b_{\alpha}$ , siendo l la mayor dimensión de la superficie proyección de la estructura en un plano perpendicular a la dirección del viento, y  $b_{\alpha}$  la menor dimensión de la misma superficie. Para aquellos elementos estructurales confinados por un plano en un extremo, a los efectos de la determinación de k se considerará que tienen una esbeltez doble. Por el contrario, si están confinados por planos en los dos extremos se considerará que tienen una esbeltez infinita.

$\lambda = l / b_{\alpha}$	k							
	2	5	10	20	40	50	100	$\infty$
Elementos de Caras Planas	0.62	0.66	0.69	0.81	0.87	0.90	0.95	1.0
Elementos de Sección Circular (Flujo subcrítico) 45)	0.58	0.62	0.68	0.74	0.82	0.87	0.98	1.0
Elementos de Sección Circular (Flujo supercrítico) 45)	0.80	0.80	0.82	0.90	0.98	0.99	1.00	1.0

**TABLA 3.2.2.3.5. COEFICIENTES EOLICOS DE FUERZA  $C_f$ , PARA ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE SECCION CIRCULAR Y ESBELTEZ INFINITA ( $\lambda=\infty$ ), DE SUPERFICIE LISA O DEBILMENTE RUGOSA<sup>1)</sup> (viento actuando perpendicularmente al eje longitudinal del elemento estructural)**

CARACTERISTICAS DEL FLUJO DE AIRE		$C_f$
Flujo Subcrítico <sup>45)</sup>	$\bar{V}_v \cdot b < 6 \text{ m}^2/\text{s}$ $Re < 4.1 \cdot 10^5$	1.2
Flujo Supercrítico <sup>45)</sup>	$6 \leq \bar{V}_v \cdot b < 12 \text{ m}^2/\text{s}$ $4.1 \cdot 10^5 \leq Re < 8.2 \cdot 10^5$	0.6
	$12 \leq \bar{V}_v \cdot b < 33 \text{ m}^2/\text{s}$ $8.2 \cdot 10^5 \leq Re < 22.6 \cdot 10^5$	0.7
	$\bar{V}_v \cdot b \geq 33 \text{ m}^2/\text{s}$ $Re \geq 22.6 \cdot 10^5$	0.8

**LEYENDA:**

b: Diámetro de la sección circular.

l: Dimensión longitudinal del elemento estructural.

$\bar{V}_v$ : Velocidad media del viento considerada para las condiciones específicas de proyecto.

Re: Número de Reynolds ( $Re = \bar{V}_v \cdot b / \nu$ ). En esta tabla se ha considerado la viscosidad cinemática del aire ( $\nu$ ) en condiciones estándar ( $1.46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ).

**NOTAS:**

1. La dimensión de la rugosidad no excede el 1% del diámetro (b).
- Se considerará que la fuerza de viento resultante tiene la dirección del viento, pudiéndose considerar uniformemente distribuida a lo largo del eje longitudinal del elemento estructural.
- Para elementos estructurales de esbeltez finita ( $\lambda=l/b$ ) podrán utilizarse los coeficientes eólicos de fuerza incluidos en esta tabla multiplicándolos por un factor de reducción k.  
El factor k puede obtenerse en la tabla 3.2.2.3.4., siguiendo las condiciones de aplicación incluidas en la misma.
- Se recomienda tomar en consideración valores de  $\bar{V}_v$  menores que los correspondientes al Estado de Viento de proyecto ya que eventualmente podrían dar lugar a fuerzas mayores.

(45) El flujo de aire puede caracterizarse por medio del número de Reynolds ( $Re$ ), el cual se define tomando en consideración la velocidad media del viento ( $\bar{V}_v$ ), la viscosidad cinemática del aire ( $\nu$ ) y el diámetro del elemento estructural analizado ( $b$ ). Es decir:  $Re = \bar{V}_v \cdot b / \nu$ , pudiendo tomarse  $\nu$  igual a  $1.46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ . Cuando se prevean ráfagas de viento podrá alcanzarse un valor máximo de  $1.75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ .

A los efectos de esta Recomendación se considerará flujo en régimen subcrítico si  $Re < 4.1 \cdot 10^5$ , y flujo en régimen supercrítico si  $Re \geq 4.1 \cdot 10^5$ .



**TABLA 3.2.2.3.6. COEFICIENTES EOLICOS DE FUERZA  $C_f$ , PARA TIRANTES, CABLES Y CABOS DE ESBELTEZ INFINITA ( $\lambda=\infty$ ) (viento actuando perpendicularmente al plano longitudinal del elemento)**

	CARACTERISTICAS DEL FLUJO DE AIRE	CARACTERISTICAS DE LA SUPERFICIE	$C_f$
CABLES Y CABOS	$\bar{V}_v \cdot b < 0.6 \text{ m}^2/\text{s}$	Trenzados finos	1.20
		Trenzados gruesos	1.30
CABLES Y CABOS	$\bar{V}_v \cdot b \geq 0.6 \text{ m}^2/\text{s}$	Trenzados finos	0.90
		Trenzados gruesos	1.10
TIRANTES	$\bar{V}_v \cdot b < 6 \text{ m}^2/\text{s}$	Lisa	1.20
		Moderadamente rugosa	1.20
	$\bar{V}_v \cdot b \geq 6 \text{ m}^2/\text{s}$	Lisa	0.50
		Moderadamente rugosa	0.70

**LEYENDA:**

b: Diámetro de la sección.

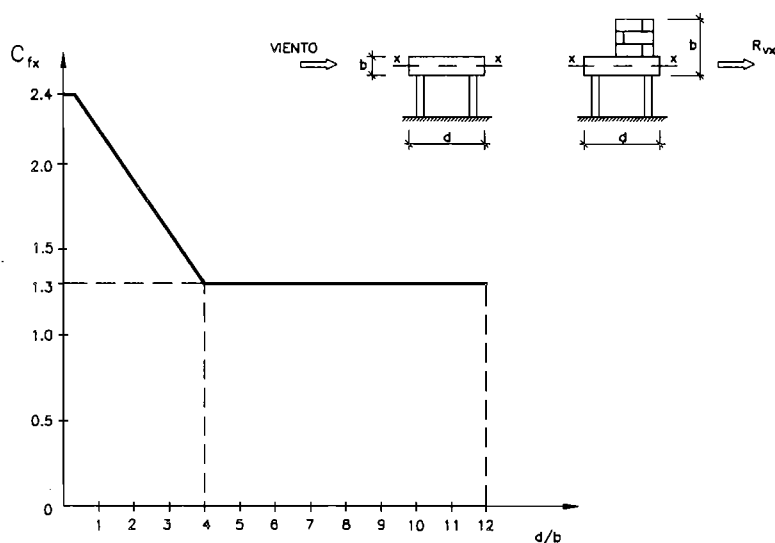
l: Dimensión longitudinal.

$\bar{V}_v$ : Velocidad media del viento considerada para las condiciones específicas de proyecto.

**NOTAS:**

- Se considerará que la fuerza de viento resultante tienen la dirección del viento, distribuyéndose uniformemente a lo largo de la longitud del elemento.
- Para elementos estructurales de esbeltez finita ( $\lambda=l/b$ ) podrán utilizarse los coeficientes eólicos de fuerza incluidos en esta tabla multiplicándolos por un factor de reducción k.  
El factor k puede obtenerse en la tabla 3.2.2.3.4., siguiendo las condiciones de aplicación incluidas en la misma.
- Se recomienda tomar en consideración valores  $\bar{V}_v$  menores que los correspondientes al Estado de Viento de proyecto, ya que eventualmente podrían dar lugar a fuerzas mayores.

**TABLA 3.2.2.3.7. COEFICIENTES EOLICOS DE FUERZA ( $C_{fx}$ ), PARA SUPERESTRUCTURAS DE PANTALANES, PLATAFORMAS, PUENTES Y DUQUES DE ALBA SOBRE PILAS O PILOTES, DE ESBELTEZ INFINITA ( $\lambda=l/b=\infty$ ) (viento actuando perpendicularmente al eje longitudinal de la superestructura)**



**LEYENDA:**

- $R_{vx}$ : Componente en la dirección de actuación del viento de la fuerza resultante de presión de viento.  
 $R_{vx} = C_{fx} \cdot q \cdot A_e$
- $R_{vy}$ : Componente en la dirección del eje longitudinal de la estructura de la fuerza resultante de presión de viento. Simplificadamente podrá considerarse que esta fuerza tiene el siguiente valor:  
 $R_{vy} = 0.25 \cdot R_{vx}$
- $A_e$ : Área frontal efectiva. Coincidirá con el área proyección de la superestructura sobre el plano normal a la dirección de actuación del viento. Para su valoración se considerarán todos los elementos sólidos que forman parte de la misma como la plataforma de rodadura, las vigas, las defensas, etc.; incluyendo la superficie expuesta por el tráfico rodado, los equipos de manipulación de mercancías y las mercancías estacionadas. Para la determinación de la superficie expuesta por estos últimos elementos se atenderá a lo dispuesto en el apartado 3.2.2.7.
- $l$ : Dimensión longitudinal de la superestructura.

**NOTAS:**

- Para superestructuras de esbeltez finita ( $\lambda=l/b$ ) podrán utilizarse los coeficientes eólicos de fuerza incluidos en esta tabla multiplicándolos por un factor de reducción  $k$ . El factor  $k$  puede obtenerse en la tabla 3.2.2.3.4., siguiendo las condiciones de aplicación incluidas en la misma.

### 3.2.2.4. EFECTO DE OPACIDAD AL VIENTO

Cuando una construcción está formada por varios elementos estructurales individuales situados en un plano normal a la dirección del viento (*p.e. estructuras reticuladas planas o una alineación de pilares o pilotes*) deberá tomarse en consideración la existencia de un efecto de opacidad al viento, o de macización aparente de la construcción, que tiende a incrementar la fuerza resultante sobre cada elemento estructural individual respecto a la calculada según lo dispuesto en el apartado 3.2.2.3.1., y por tanto también la resultante sobre la totalidad de la construcción.

En este caso, la fuerza resultante sobre la totalidad de la construcción o instalación considerada podrá determinarse mediante la formulación siguiente:

$$R_{v,opac} = C_{fe} \cdot q_{v,t}(z) \cdot A_{opac} \cdot \phi = C_{fe} \cdot q_{v,t}(z) \cdot (\Sigma A_e) \quad [3.2.17]$$

siendo:

$R_{v,opac}$ : Fuerza resultante de presión debido a la actuación del viento sobre la totalidad de la estructura, considerando la existencia de un efecto global de opacidad al viento. En el caso analizado de dirección de actuación del viento normal al plano en que se sitúan los elementos estructurales individuales, se considerará que la dirección de actuación de la fuerza coincide con la dirección de actuación del viento.

$q_{v,t}(z)$ : Presión dinámica asociada a la velocidad de viento considerada para las condiciones específicas de proyecto  $[V_{v,t}(z)]$ .

$A_{opac}$ : Área de toda la superficie (*maciza o no*) limitada por el contorno exterior de la estructura considerada, proyectada sobre un plano normal a la dirección de actuación del viento.

$\Sigma A_e$ : Área efectiva total. Es decir, suma de las áreas efectivas, o áreas de las proyecciones de los elementos estructurales sobre un plano perpendicular a la dirección de actuación del viento, correspondientes a cada uno de los elementos estructurales individuales.

$\phi$ : Índice de Huecos o Factor de Opacidad, definido como cociente entre  $\Sigma A_e$  y  $A_{opac}$ . Es decir:

$$\phi = (\Sigma A_e) / A_{opac} \quad [3.2.18]$$

$C_{fe}$ : Factor de Forma o Coeficiente Eólico de Fuerza Efectivo. En la tabla 3.2.2.4.1. se dan los coeficientes eólicos de fuerza efectivos para estructuras formadas por diversos elementos estructurales aislados del mismo tipo, en función del índice de huecos o factor de opacidad ( $\phi$ ). Se diferencian para elementos estructurales de superficies planas y para elementos de sección circular, tomando en consideración en este último caso las características del flujo de aire a través de la sección circular (*régimen laminar subcrítico o supercrítico*)<sup>(45)</sup>.

Cuando la estructura esté formada por elementos estructurales de diversos tipos, es decir por elementos de superficies planas conjuntamente con elementos de sección circular de igual o diferente diámetro, o por elementos de sección circular con diámetros diferentes, la fuerza resultante sobre la totalidad de la estructura podrá obtenerse utilizando un coeficiente eólico de fuerza efectivo igual a:

$$C_{fe} = \frac{1}{\Sigma A_e} [C_{fe,plan} \cdot \Sigma A_{e,plan} + C_{fe,circ.subc} \cdot \Sigma A_{e,circ.subc} + C_{fe,circ.superc} \cdot \Sigma A_{e,circ.superc}] \quad [3.2.19]$$

siendo:

$C_{fe,plan}$ : Coeficiente eólico de fuerza efectivo correspondiente a los elementos estructurales de superficies planas, obtenido de la tabla 3.2.2.4.1. tomando el índice de huecos de la estructura  $\phi$ .

$$[\phi = \Sigma A_e / A_{opac} = (\Sigma A_{e,plan} + \Sigma A_{e,circ.subc} + \Sigma A_{e,circ.superc}) / A_{opac}]$$

$C_{fe,circ.subc}$ : Coeficiente eólico de fuerza efectivo correspondiente a los elementos estructurales de sección circular en régimen de flujo subcrítico, obtenido de la tabla 3.2.2.4.1. tomando el índice de huecos de la estructura  $\phi$ .

(45) El flujo de aire puede caracterizarse por medio del número de Reynolds ( $Re$ ), el cual se define tomando en consideración la velocidad media del viento ( $V_v$ ), la viscosidad cinemática del aire ( $\nu$ ) y el diámetro del elemento estructural analizado ( $b$ ). Es decir:  $Re = V_v \cdot b / \nu$ , pudiendo tomarse  $\nu$  igual a  $1.46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ . Cuando se prevean rocesiones  $\nu$  podrá alcanzar un valor máximo de  $1.75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ . A los efectos de esta Recomendación se considerará flujo en régimen subcrítico si  $Re < 4.1 \cdot 10^5$ , y flujo en régimen supercrítico si  $Re \geq 4.1 \cdot 10^5$ .

- $C_{fe,circ.superc}$ : Coeficiente eólico de fuerza efectivo correspondiente a los elementos estructurales de sección circular en régimen de flujo supercrítico, obtenido de la tabla 3.2.2.4.1. tomando el índice de huecos de la estructura  $\phi$ .
- $\Sigma A_{e,plan}$ : Área efectiva correspondiente a los elementos estructurales de superficies planas.
- $\Sigma A_{e,circ.subc}$ : Área efectiva correspondiente a los elementos estructurales de sección circular en régimen de flujo subcrítico.
- $\Sigma A_{e,circ.superc}$ : Área efectiva correspondiente a los elementos estructurales de sección circular en régimen de flujo supercrítico.

La fuerza resultante sobre cada uno de los elementos estructurales aislados podrá obtenerse considerando el coeficiente eólico de fuerza efectivo correspondiente al tipo de elemento estructural analizado para el índice de huecos ( $\phi$ ) de la estructura (tabla 3.2.2.4.1), y el área efectiva del mismo.

Del análisis de la tabla 3.2.2.4.1. puede concluirse que, para factores de opacidad bajos, la fuerza resultante prácticamente es coincidente con la obtenida calculando separadamente las fuerzas que actúan sobre cada uno de los elementos estructurales supuestos aislados.

Dado que los coeficientes eólicos de fuerza efectivos para secciones circulares en régimen de flujo subcrítico son, en general, superiores a los correspondientes a régimen supercrítico, se recomienda tomar en consideración valores de la velocidad media del viento menores que los correspondientes al Estado de Viento de proyecto, ya que eventualmente al cambiar de régimen de flujo podrían dar lugar a fuerzas mayores.

En los casos en que el viento no actúe perpendicularmente al plano definido por los elementos estructurales individuales, la componente en la dirección perpendicular a dicho plano de la fuerza resultante de presión ( $R_{vx,opac}$ ) podrá obtenerse estimativamente a partir de la fórmula [3.2.17] considerando un coeficiente eólico efectivo igual a  $C_{fe} \cdot \cos\alpha$ , siendo  $C_{fe}$  el coeficiente efectivo definido para el caso de incidencia perpendicular del viento y  $\alpha$  el ángulo formado entre la dirección del viento y la normal al plano formado por la estructura analizada. Para la aplicación de la fórmula citada se considerarán las áreas efectivas sobre el plano perpendicular a la componente calculada.

**TABLA 3.2.2.4.1. COEFICIENTES EOLICOS DE FUERZA EFECTIVOS PARA CONSIDERAR EL EFECTO DE OPACIDAD AL VIENTO EN CONSTRUCCIONES FORMADAS POR ELEMENTOS ESTRUCTURALES INDIVIDUALES SITUADOS EN UN PLANO NORMAL A LA DIRECCION DEL VIENTO**

$\phi$	$C_{fe}$		
	Elementos de Superficies Planas	Elementos de Sección Circular	
		Flujo Subcrítico $Re < 4.1 \cdot 10^5$	Flujo Supercrítico $Re \geq 4.1 \cdot 10^5$
0.1	1.9	1.2	0.7
0.2	1.8	1.2	0.8
0.3	1.7	1.2	0.8
0.4	1.7	1.1	0.8
0.5	1.6	1.1	0.8
0.75	1.6	1.5	1.4
→ 1.0	2.0	2.0	2.0

**NOTAS:** Para valores intermedios de  $\phi$  podrá interpolarse linealmente.

### 3.2.2.5. EFECTO SOMBRA

Cuando una estructura está formada por dos o más alineaciones, paralelas o no, de elementos estructurales (*p.e. estructuras reticuladas planas dispuestas paralelamente o vigas principales de plataformas y puentes*), situadas una detrás de otra en la dirección de actuación del viento, deberá tomarse en consideración la existencia de un efecto sombra en los elementos estructurales situados a sotavento. Este efecto tiende a reducir la resultante de la acción del viento sobre los elementos que se encuentran protegidos por la primera alineación.

Las fuerzas resultantes de presión del viento sobre la alineación situada a barlovento, y sobre aquellas partes de las siguientes alineaciones que no estén protegidas, se determinarán según los criterios definidos en los apartados 3.2.2.3.1. y 3.2.2.4. Por el contrario, la fuerza resultante de presión del viento sobre los elementos protegidos podrá determinarse multiplicando la fuerza obtenida considerando que no están protegidos por un factor de reducción  $\eta$  denominado Factor de Sombra. Es decir:

$$R_{v,som} = R_v \cdot \eta \quad \text{ó} \quad R_{v,som} = R_{v,opac} \cdot \eta \quad [3.2.20]$$

El factor de sombra a utilizar es función del índice de huecos o factor de opacidad ( $\phi$ ) de la alineación situada a barlovento, del tipo de elementos estructurales que forman dicha alineación y de la separación existente entre ambas alineaciones. Los valores del factor de sombra  $\eta$  pueden determinarse según los criterios definidos en la tabla 3.2.2.5.1.

Cuando existan más de dos alineaciones estructurales en la dirección de actuación del viento, con similar geometría y separación entre ellas, la fuerza resultante de presión del viento sobre la tercera alineación y siguientes se tomará igual a la determinada para la segunda alineación.

La acción del viento sobre la totalidad de la estructura o instalación se obtendrá como suma de las fuerzas resultantes correspondientes a cada una de las alineaciones.

### 3.2.2.6. CASO PARTICULAR: ESTRUCTURAS RETICULADAS EN FORMA DE TORRE

Para el caso particular de estructuras reticuladas en forma de torre de sección uniforme cuadrada o triangular equilátera se han desarrollado tablas específicas para la obtención del Coeficiente Eólico de Fuerza Efectivo correspondiente a estos tipos estructurales de uso muy generalizado, con el objeto de simplificar los cálculos necesarios para obtener la fuerza resultante de presión del viento sobre estas estructuras a partir de los apartados 3.2.2.4. y 3.2.2.5.

La carga total del viento sobre dicho tipo estructural, resultante de las fuerzas de presión que actúan en sus diferentes elementos superficiales, será una fuerza en la dirección de actuación del viento cuyo valor podrá obtenerse por medio de la formulación siguiente:

$$R_v = C_{fe} \cdot q_{v,t}(z) \cdot \Sigma A_e \quad [3.2.21]$$

siendo:

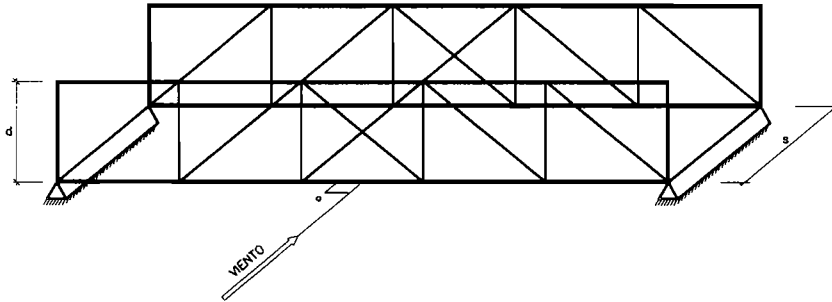
$\Sigma A_e$ : Área efectiva total correspondiente a la cara sobre la que actúa el viento (*Ver apartado 3.2.2.4*).

$C_{fe}$ : Coeficiente Eólico de Fuerza Efectivo.  
En las tablas 3.2.2.6.1. a 3.2.2.6.3. se dan los coeficientes eólicos de fuerza efectivos para estructuras reticuladas en forma de torre de sección uniforme cuadrada o triangular equilátera, en función del índice de huecos y del tipo de elementos estructurales individuales que constituyen la cara sobre la que actúa el viento, así como de la dirección de actuación del viento.

### 3.2.2.7. ACCION DEL VIENTO SOBRE MERCANCIAS ESTACIONADAS, TRAFICO RODADO, Y EQUIPOS DE MANIPULACIÓN DE MERCANCIAS

Las cargas de viento sobre las mercancías estacionadas o almacenadas se determinarán aplicando los criterios generales recogidos en los apartados 3.2.2.2. a 3.2.2.5. Las superficies expuestas al viento se fijarán, teniendo en cuenta las condiciones de explotación establecidas en la zona considerada, para las alturas máximas previstas de las mercancías almacenadas o estacionadas. Si estas alturas no quedan definidas por la propia geometría del proyecto o por prescripciones específicas del Cliente o de la Autoridad Competente, se

**TABLA 3.2.2.5.1. FACTOR DE SOMBRA,  $\eta$ , EN CONSTRUCCIONES FORMADAS POR ELEMENTOS ESTRUCTURALES SITUADOS EN DIFERENTES PLANOS EN LA DIRECCION DE ACTUACION DEL VIENTO**



FACTOR DE ESPACIAMIENTO ( $\mu$ )	VALORES DE $\eta$ PARA UN INDICE DE HUECOS O FACTOR DE OPACIDAD AERODINAMICO $\beta$ , DE:							
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	$\geq 0.8$
$\leq 1.0$	1.0	0.96	0.90	0.80	0.68	0.54	0.44	0.37
2.0	1.0	0.97	0.91	0.82	0.71	0.58	0.49	0.43
3.0	1.0	0.97	0.92	0.84	0.74	0.63	0.54	0.48
4.0	1.0	0.98	0.93	0.86	0.77	0.67	0.59	0.54
5.0	1.0	0.98	0.94	0.88	0.80	0.71	0.64	0.60
$\geq 6.0$	1.0	0.99	0.95	0.90	0.83	0.75	0.69	0.66

**LEYENDA:**

**1.  $\mu$ :** Factor de Espaciamiento.

Se define como cociente entre la distancia que separa los planos paralelos formados por los elementos estructurales pertenecientes a cada una de las alineaciones ( $s$ ), y la menor dimensión de la superficie limitada por el contorno exterior de la estructura situada a barlovento, proyectada sobre un plano normal a la dirección de actuación del viento ( $d$ ). Si la superficie envolvente no es rectangular deberá considerarse un contorno ficticio con esta forma que pueda admitirse como equivalente a los efectos de sombra de la estructura a sotavento ( $\mu = s/d$ ).

En aquellos casos en que los planos formados por los elementos estructurales no sean paralelos o el viento no actúe perpendicularmente al plano definido por los elementos estructurales, el factor de espaciamiento deberá ser calculado a partir del valor medio de la distancia que separa los planos en la dirección del viento.

**2.  $\beta$ :** Índice de Huecos o Factor de Opacidad Aerodinámico.

Se define mediante la siguiente formulación:  $\beta = \xi \cdot \phi$



siendo:

$\phi$  = Factor de Opacidad correspondiente a la primera alineación o estructura situada a barlovento.

$\xi$  = Constante, tomando los siguientes valores:


- 1.6 si la primera alineación está constituida únicamente por elementos estructurales de superficies planas.
- 1.2 si la primera alineación está constituida por elementos estructurales de sección circular en régimen de flujo subcrítico<sup>45)</sup>, o por elementos de superficies planas conjuntamente con los de sección circular citados.
- 0.5 si la primera alineación está constituida por elementos estructurales de sección circular en régimen de flujo supercrítico<sup>45)</sup>, o por elementos de superficies planas conjuntamente con los de sección circular citados.

**TABLA 3.2.2.6.1. COEFICIENTES EOLICOS DE FUERZA EFECTIVOS CORRESPONDIENTES A ESTRUCTURAS RETICULADAS EN FORMA DE TORRE DE SECCION UNIFORME CUADRADA O TRIANGULAR EQUILATERA, CONSTITUIDAS POR ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE SUPERFICIES PLANAS**

$\phi$	$C_{fe}$		
	TORRES DE SECCION CUADRADA 	TORRES DE SECCION TRIANGULAR 	
	Viento actuando en dirección normal a una cara	Viento actuando en el plano bisector del diedro entre dos caras	Viento actuando en cualquier dirección
0,1	3,8	4,6	3,1
0,2	3,3	4,0	2,7
0,3	2,8	3,4	2,3
0,4	2,3	2,8	1,9
0,5	2,1	2,5	1,5
0,6	1,9	2,5	1,5
0,7	1,8	2,6	1,5
0,8	1,7	2,7	1,5
0,9	1,9	2,9	1,9
→ 1,0	2,0	3,1	2,0


NOTAS: Para valores intermedios de  $\phi$  podrá interpolarse linealmente.

**TABLA 3.2.2.6.2. COEFICIENTES EOLICOS DE FUERZA EFECTIVOS CORRESPONDIENTES A ESTRUCTURAS RETICULADAS EN FORMA DE TORRE DE SECCION UNIFORME CUADRADA, CONSTITUIDAS POR ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE SECCION CIRCULAR**

$\phi$	$C_{fe}$ 			
	Todos los elementos estructurales en régimen subcrítico: $\bar{V}_v \cdot b < 6 \text{ m}^2/\text{s}$		Todos los elementos estructurales en régimen supercrítico: $\bar{V}_v \cdot b \geq 6 \text{ m}^2/\text{s}$	
	Viento actuando en dirección normal a una cara	Viento actuando en el plano bisector del diedro entre dos caras	Viento actuando en dirección normal a una cara	Viento actuando en el plano bisector del diedro entre dos caras
0,05	2,4	2,5	1,1	1,2
0,1	2,2	2,3	1,2	1,3
0,2	1,9	2,1	1,3	1,6
0,3	1,7	1,9	1,4	1,6
0,4	1,6	1,9	1,4	1,6
0,5	1,4	1,9	1,4	1,6

NOTAS: – b: Diámetro de cada elemento estructural del que se compone la torre.  
 – Para valores intermedios de  $\phi$  podrá interpolarse linealmente.  
 – En el caso de torres constituidas por elementos estructurales de diversos tipos podrá estimarse un coeficiente eólico efectivo utilizando un procedimiento equivalente al definido en la fórmula [3.2.19] del apartado 3.2.2.4.

**TABLA 3.2.2.6.3. COEFICIENTES EOLICOS DE FUERZA EFECTIVOS CORRESPONDIENTES A ESTRUCTURAS RETICULADAS EN FORMA DE TORRE DE SECCION UNIFORME TRIANGULAR EQUILATERA, CONSTITUIDAS POR ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE SECCION CIRCULAR**

$\phi$	$C_{fe}$ 	
	<i>Todos los elementos estructurales en régimen subcrítico:</i> $\bar{V}_v \cdot b < 6 \text{ m}^2/\text{s}$	<i>Todos los elementos estructurales en régimen supercrítico:</i> $\bar{V}_v \cdot b \geq 6 \text{ m}^2/\text{s}$
	<i>Viento actuando en cualquier dirección</i>	<i>Viento actuando en cualquier dirección</i>
0,05	1,8	0,8
0,1	1,7	0,8
0,2	1,6	1,1
0,3	1,5	1,1
0,4	1,5	1,1
0,5	1,4	1,2

**NOTAS:** – b: Diámetro de cada elemento estructural del que se compone la torre.  
 – Para valores intermedios de  $\phi$  podrá interpolarse linealmente.  
 – En el caso de torres constituidas por elementos estructurales de diversos tipos podrá estimarse un coeficiente eólico efectivo utilizando un procedimiento equivalente al definido en la fórmula [3.2.19] del apartado 3.2.2.4.

tomarán los valores usuales de las mismas en explanadas exteriores indicados en la tabla 3.4.2.3.1.2.<sup>46)</sup> de la ROM 0.2-90. Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias.

En general, no se considerarán específicamente cargas producidas por el viento sobre tráfico rodado convencional. Esto es debido a que los Códigos y Normas de Acciones que definen sobrecargas de tráfico rodado convencional <sup>47)</sup> suelen indicar que las mismas cubren ampliamente las variaciones inducidas por el viento en condiciones normales de operación. Asimismo no se considera la hipótesis de viento en condiciones climáticas extremas al suponerse la retirada del tráfico rodado convencional una vez superadas las condiciones límite de operación.

Por el contrario, se tomarán en consideración las cargas de viento sobre tráfico ferroviario tanto en condiciones normales de operación como en condiciones climáticas extremas. La determinación de las mismas se llevará a cabo aplicando los criterios generales recogidos en los apartados 3.2.2.2. a 3.2.2.5., considerando que la sección real del tren equivale, en la longitud correspondiente a tramo cargado, a un rectángulo de 3.5 m de altura sobre el nivel superior del carril por 3.0 metros de ancho. En ausencia de criterios específicos, el viento límite de operatividad para estos casos se tomará coincidente con el fijado para los equipos de manipulación de mercancías <sup>48)</sup>.

La determinación de cargas de viento sobre equipos de manipulación de mercancías (p.e. grúas pórtico sobre carriles, carretillas portacontenedores, o grúas automóviles) se realizará aplicando los criterios generales recogidos en los apartados 3.2.2.2. a 3.2.2.5. de esta Recomendación a cada uno de los elementos estructurales que los componen, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- (46) TABLA 3.4.2.3.1.2. Alturas máximas usuales de almacenamiento o estacionamiento de mercancías en áreas portuarias.
- (47) Ver Apartado 3.4.2.3.3. Sobrecargas de Tráfico de la ROM 0.2-90, y la Instrucción Relativa a las Acciones a Considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera/1972.
- (48) Ver TABLA 3.2.1.2.2. Velocidades de viento límite de operatividad usuales en instalaciones y estructuras portuarias no considerando diferenciación direccional.



- En equipos fijos o de rodadura restringida (*equipos sobre carriles o sobre bandas de rodadura*), se considerará que una vez superadas las condiciones de viento límite de operatividad<sup>48)</sup> el equipo paraliza sus actividades adoptando la posición replegada de menor superficie expuesta a la acción del viento.
- En equipos sin movilidad restringida (*p.e. equipos sobre neumáticos*), se considerará que al alcanzarse las condiciones de viento límite de operatividad<sup>48)</sup> los equipos se resguardan en zonas protegidas o auxiliares, no considerándose la hipótesis de viento en condiciones climáticas extremas.

En los equipos con cargas suspendidas o izadas se considerará que, en condiciones normales de operación, el equipo soporta a efectos del cálculo de la acción del viento una carga prismática que presenta una superficie expuesta de 1m<sup>2</sup>/t para valores de carga inferiores a 5 t, 0.5 m<sup>2</sup>/t para valores de carga entre 5 y 25 t, y de 15 m<sup>2</sup> para cargas superiores, salvo que las condiciones de explotación o el Cliente indiquen expresamente otra cosa. Para el caso particular de manipulación de contenedores se considerará una superficie expuesta de 30 m<sup>2</sup>. Para estos casos deberá tomarse un coeficiente eólico de fuerza, C<sub>f</sub>, igual a 1.

Al igual que lo señalado para tráfico rodado convencional, en general podrán desprejarse las cargas de viento en condiciones normales de operación transmitidas por equipos de manipulación de mercancías de movilidad no restringida, debido a que estas cargas no son significativas con respecto a las acciones horizontales producidas por la consideración de efectos dinámicos<sup>49)</sup>.

Las cargas debidas al viento transmitidas por los equipos de manipulación de mercancías de movilidad restringida más usuales en las zonas portuarias (*grúas pórtico y grúas portacontenedores*) pueden obtenerse en las tablas 3.4.2.3.2.1, 3.4.2.3.2.2. y 3.4.2.3.2.5. de la ROM 0.2-90. Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias, tanto para condiciones normales de operación como para condiciones climáticas extremas.

### 3.2.2.8. ACCION DEL VIENTO SOBRE UN FLOTADOR AMARRADO O FONDEADO. FUERZAS DE ARRASTRE

La carga total de arrastre resultante de la actuación del viento sobre un flotador o elemento estructural flotante (*buque, barcaza, boya, pantalán flotante, dique flotante, ...*) amarrado o fondeado podrá calcularse de forma general mediante la formulación de Hughes:

$$R_{vt} = \frac{(C_{vx} \cdot \cos^2 \alpha \cdot A_{ex} + C_{vy} \cdot \sin^2 \alpha \cdot A_{ey})}{\cos(\phi - \alpha)} \cdot q_{vt}(z) \quad [3.2.22]$$

siendo:

- R<sub>vt</sub>: Fuerza total de arrastre resultante de la acción del viento sobre el flotador (*incluye conjuntamente efectos de presión y de rozamiento*).  
En cada caso deberá determinarse el punto de aplicación y dirección de la fuerza resultante. Estos parámetros se definirán mediante una excentricidad (*e*) respecto al centro de gravedad del flotador y el ángulo que forma la resultante con el eje longitudinal del mismo (*x-x*) (*φ*). (*Ver figura 3.2.2.8.1*).  
Con carácter general y a falta de datos o estudios específicos, para flotadores prácticamente simétricos aunque no con simetría radial (*p.e. pontona o dique flotante*) podrá considerarse una excentricidad respecto a su centro de gravedad en la dirección del eje longitudinal del orden de 0.1·*b*, siendo *b* la dimensión de la sección longitudinal del flotador en la dirección de dicho eje.
- C<sub>vx</sub>: Factor de Arrastre para el viento actuando en la dirección del eje x (*eje longitudinal del flotador*).
- C<sub>vy</sub>: Factor de Arrastre para el viento actuando en la dirección del eje y (*eje transversal del flotador*).
- α: Angulo formado entre el eje longitudinal del flotador y la dirección de actuación del viento.
- A<sub>ex</sub>: Area expuesta al viento de la proyección del flotador sobre un plano normal al eje x, incluyendo obra muerta y superestructura (*area de la proyección transversal por encima del nivel del agua*). A los efectos de la determinación de este área se considerará situación de calma, despreciándose los efectos sobre la misma de los posibles

(49) Ver Apartado 3.4.2.3.2. Sobrecargas de equipos e instalaciones de manipulación de mercancías de la ROM 0.2-90.

movimientos del flotador debidos a la acción conjunta de todas las fuerzas exteriores de actuación simultánea compatible (*viento, oleaje y corrientes*) sobre el mismo.

$A_{ey}$ : Área expuesta al viento de la proyección del flotador sobre un plano normal al eje  $y$ , incluyendo obra muerta y superestructura (*area de la proyección longitudinal por encima del nivel del agua*). A los efectos de la determinación de este área se considerará situación de calma.

$\phi$ : Angulo formado entre el eje longitudinal del flotador y la dirección de actuación de la fuerza. Podrá aproximarse mediante la formulación siguiente:

$$\operatorname{tg} \phi = [A_{ey}/A_{ex}] \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad [3.2.23]$$

$q_{v,t}$ : Presión dinámica asociada a la velocidad de viento considerada para las condiciones específicas de proyecto  $[V_{v,t}(z)]^{50}$ .  
Para el cálculo de  $q_{v,t}$  se valorará la posibilidad de roces según los criterios expuestos en el apartado 3.2.2.1. Presión Dinámica del Viento.

### 3.2.2.8.1. ACCION DEL VIENTO SOBRE UN BUQUE

La magnitud de los coeficientes  $C_{vx}$  y  $C_{vy}$  para buques es muy variable en función de las características y forma del mismo por encima del nivel del agua, y de su estado de carga. Para buques aislados, como primera aproximación podrán tomarse los siguientes valores medios:

$C_{vx} = 0.80$  para viento de proa ( $\alpha = 0^\circ$ )  
 $= 1.00$  para viento de popa ( $\alpha = 180^\circ$ )

$C_{vy} = 1.25$  para viento transversal ( $\alpha = 90^\circ$ )

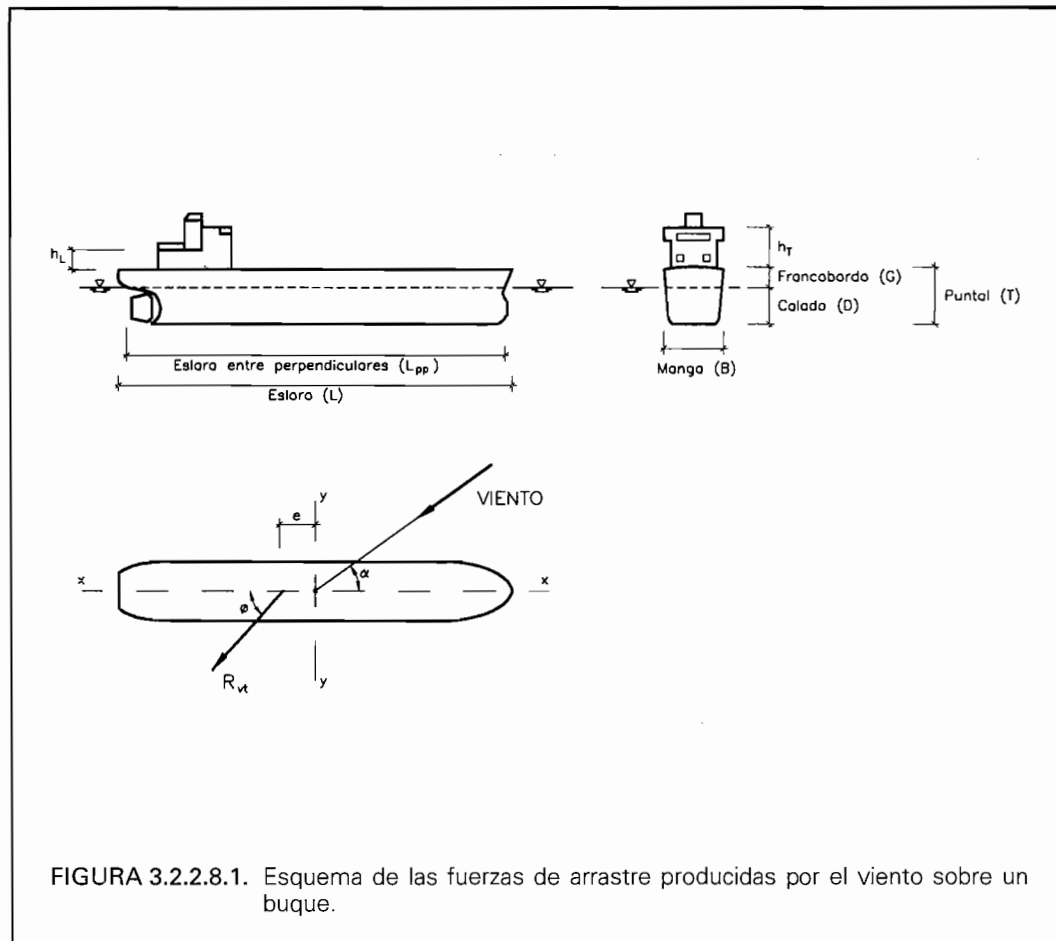


FIGURA 3.2.2.8.1. Esquema de las fuerzas de arrastre producidas por el viento sobre un buque.

(50) Ver Apartado 3.2.1.2. VELOCIDAD DEL VIENTO DE PROYECTO.

No obstante, si no se dispone de una información más precisa de los Factores de Arrastre para los distintos tipos de buques y estados de carga, para la determinación de la fuerza total de arrastre resultante de la actuación del viento sobre un buque amarrado podrá admitirse la siguiente simplificación de la ecuación de Hughes del lado de la seguridad:

$$R_{vt} = C_v [\cos^2 \alpha \cdot A_{ex} + \sin^2 \alpha \cdot A_{ey}] \cdot q_{v,t}(z) \quad [3.2.24]$$

tomando  $C_v = 1.3$  para cualquier forma del buque y dirección de actuación del viento. Para barcasas y gabarras se tomará  $C_v = 1.0$ .

La magnitud de la superficie del buque expuesta a la acción del viento es asimismo muy variable en función del tipo de buque y de su estado de carga. A falta de valores conocidos, las áreas transversales y longitudinales podrán aproximarse mediante las expresiones siguientes (Ver figura 3.2.2.8.1):

$$A_{ex} = B \cdot (G + h_T) \quad [3.2.25]$$

$$A_{ey} = L_{pp} \cdot (G + h_L) \quad [3.2.26]$$

siendo:

- B: Manga del buque.
- G: Francobordo del buque (*Puntal-Calado*).
- $L_{pp}$ : Eslora entre perpendiculares.
- $h_T$ : Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano normal al eje longitudinal del buque.
- $h_L$ : Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano paralelo al plano longitudinal del buque.

Los valores usuales de los parámetros citados para los diferentes tipos de buques, tanto a plena carga como en lastre o en carga parcial, pueden ser obtenidos a partir de las tablas 3.4.2.3.5.1. Dimensiones Medias de los Buques a plena carga, y 3.4.2.3.5.9. Esfuerzos resultantes de las Presiones del Viento sobre los Buques, de la ROM 0.2-90. Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias.

El punto de aplicación de la fuerza total de arrastre resultante de la acción del viento se situará en el eje longitudinal del buque, con una excentricidad respecto del centro de gravedad del mismo igual a:

$$e = K_e \cdot L \quad [3.2.27]$$

siendo:

- L: Eslora del Buque.
- $K_e$ : Coeficiente de Excentricidad (*adimensional*).  
A falta de datos específicos, los valores del coeficiente de excentricidad podrán aproximarse a partir de la tabla 3.2.2.8.1., en función de la distribución de la superestructura en el buque, para diferentes direcciones de actuación del viento ( $\alpha$ ) y estados de carga.

Cuando dos buques estén amarrados simultáneamente a ambos lados de una obra de atraque (*p.e. espigón o 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 esta Recomendación. A estos efectos, para la definición del índice de espaciamento ( $\mu$ ) se tomará  $d = G + h_L$ . Asimismo se tomará un índice de huecos aerodinámico  $\beta = 1.6$ . 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 ( $\alpha = 90^\circ$ ) sobre  $n$  buques de características similares abarloados es igual a  $(1+n/10) \cdot R_{vt}$ , siendo  $R_{vt}$  la resultante sobre el buque aislado.

**TABLA 3.2.2.8.1. VALORES DEL COEFICIENTE DE EXCENTRICIDAD ( $K_e$ ) PARA LA DETERMINACION DEL PUNTO DE APLICACION DE LA FUERZA TOTAL DE ARRASTRE RESULTANTE DE LA ACCION DEL VIENTO SOBRE UN BUQUE**

<i>BUQUES CON SUPERESTRUCTURA CENTRADA</i>		
$\alpha$ (en °)	$K_e$	
	<i>En Lastre</i>	<i>A Plena Carga</i>
0	0	0
30	0.15	0.10
60	0.05	0.03
90	-0.02	-0.02
120	-0.10	-0.10
150	-0.20	-0.20
180	0	0

<i>BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A POPA</i>		
$\alpha$ (en °)	$K_e$	
	<i>En Lastre</i>	<i>A Plena Carga</i>
0	0	0
30	0.16	-0.10
60	0.05	-0.12
90	-0.04	-0.16
120	-0.18	-0.27
150	-0.33	-0.37
180	0	0

### 3.2.2.8.2. ACCION DEL VIENTO SOBRE UNA ESTRUCTURA FLOTANTE PRISMÁTICA

A falta de datos específicos, para estructuras flotantes prismáticas prácticamente simétricas aunque no con simetría radial (*pontonas, monoboyas, diques de abrigo, cajoneros o diques secos flotantes. Ver figura 3.2.2.8.2*) podrán tomarse como Factores de Arrastre ( $C_{vx}$  y  $C_{vy}$ ) los Coeficientes Eólicos de Fuerza incluidos en la tabla 3.2.2.3.2., considerando las dimensiones geométricas correspondientes a la zona no sumergida.

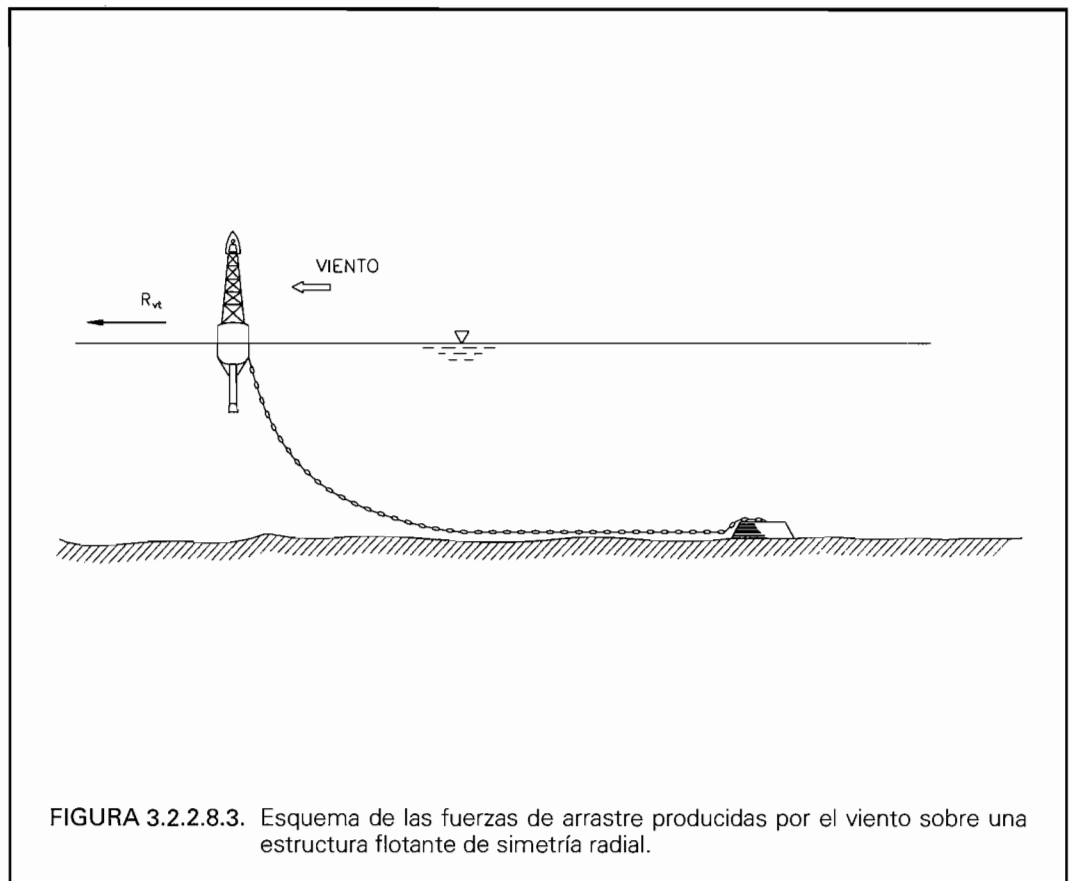
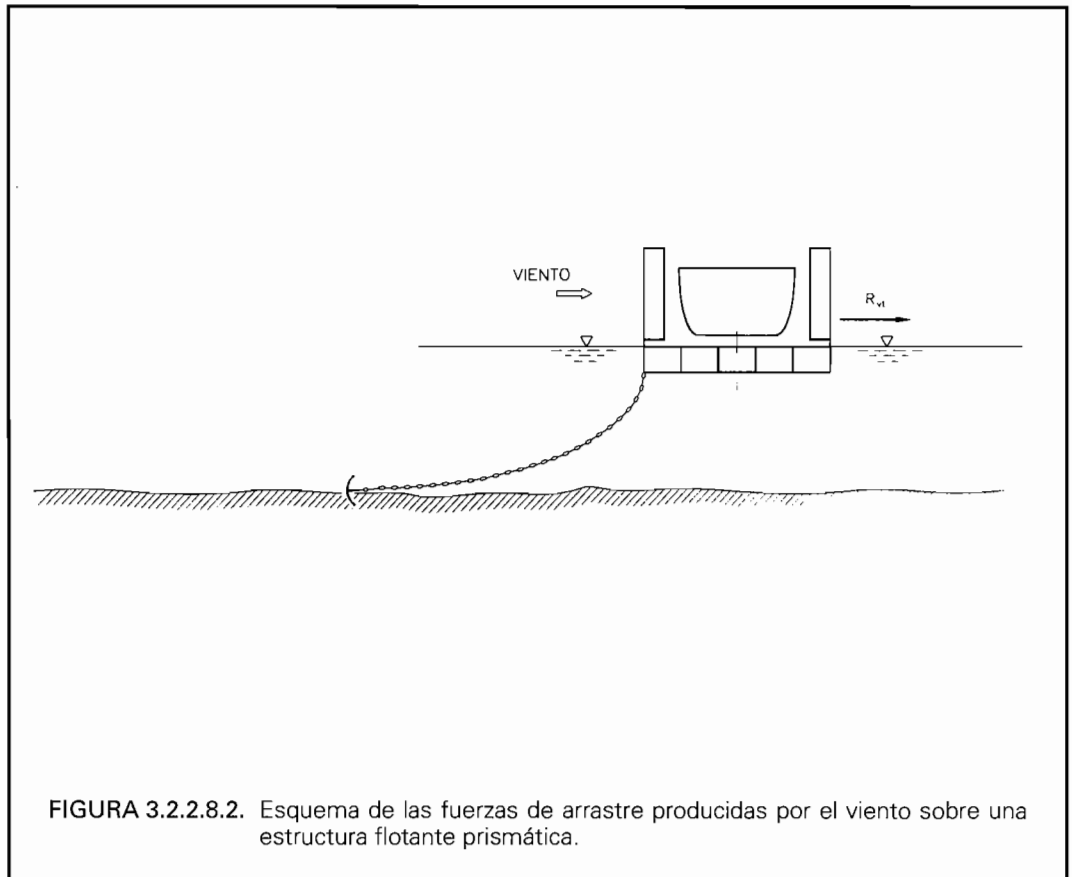
### 3.2.2.8.3. ACCION DEL VIENTO SOBRE UNA ESTRUCTURA FLOTANTE DE SIMETRÍA RADIAL

Para estructuras flotantes con simetría prácticamente radial (*p.e. boyas o balizas. Ver figura 3.2.2.8.3*), la ecuación de Hughes que determina la carga total de arrastre resultante de la actuación del viento sobre el flotador se simplifica, quedando:

$$R_{vt} = C_v \cdot A_e \cdot q_{v,t}(z) \quad [3.2.28]$$

A falta de datos específicos podrán tomarse simplifcadamente los siguientes valores para el Factor de Arrastre  $C_v$ :

- 0.7 para superficies cilíndricas.
- 0.5 para superficies esféricas.
- 1.3 para superficies cónicas o piramidales.
- 1.9 para superficies en celosía.



### 3.3. EFECTOS DINAMICOS

#### 3.3.1. CONSIDERACION DE EFECTOS DINAMICOS DEBIDOS A LA ACCION DEL VIENTO

Para un punto y un Estado de Viento dado la velocidad del viento en las capas límites puede considerarse compuesta por una componente media constante [ $\bar{V}_v$ ] y por una componente aleatoria de fluctuación en la dirección del flujo, estacionaria, de distribución gaussiana y valor medio cero [ $V_v(t)$ ]<sup>51)</sup>. Como mediante este modelo descriptivo la velocidad de fluctuación del viento puede considerarse formada por la superposición de un número infinito de ondas componentes monocromáticas de fluctuación alrededor de la velocidad media, de amplitud y frecuencia diferenciadas, la acción del viento puede considerarse como una carga de tipo frecuencial<sup>52)</sup>.

Una carga de tipo frecuencial dará lugar a efectos dinámicos si su aplicación da origen a aceleraciones significativas en la estructura o elemento estructural analizado, y por tanto a fuerzas de inercia de orden de magnitud comparable o mayor a la de las fuerzas estáticas presentes. Esto se produce fundamentalmente en estructuras de baja capacidad de amortiguamiento si en las frecuencias naturales de la estructura correspondientes a los modos de oscilación en alguna dirección o género (*flexión o torsión*), la componente correspondiente de dicha carga frecuencial tiene un valor significativo.

Para la mayor parte de las estructuras y especialmente para las específicamente marítimas y portuarias, de carácter en general masivo, las componentes de la acción del viento con capacidad resonante son pequeñas, pudiéndose considerar que en estos casos la respuesta dinámica de la estructura no es significativa y, por tanto, simplificándose la acción del viento a una carga estática según lo definido en el apartado 3.2. No obstante, algunas de estas estructuras durante la fase de construcción pueden estar en situación más crítica a efectos dinámicos, al presentar frecuencias propias de oscilación más pequeñas que en servicio.

En el apartado 2.1.2.2. Descripción Espectral del Viento se analiza el rango de frecuencias con valores energéticos significativos presentes en un Estado de Viento, observándose que se desarrollan fundamentalmente en el interior de una amplia banda entre 0.003 y 0.5 Hz. Si comparamos el espectro de energía del viento reducido tipo correspondiente a la velocidad de fluctuación con algunas bandas de frecuencias propias de oscilación que se presentan en las construcciones más usuales en las que el viento es una acción no despreciable (*Ver figura 3.3.1.1*), puede concluirse que son esperables efectos dinámicos significativos debidos al viento principalmente en estructuras, elementos estructurales y construcciones altos y esbeltos, especialmente cuando pueden oscilar en modo voladizo (*rascacielos, plataformas o construcciones en alta mar, faros, mástiles, chimeneas, torres de control de tráfico marítimo, torres de alumbrado, ...*); en los elementos estructurales esbeltos que forman parte de estructuras en celosía o de equipos e instalaciones de manipulación de mercancías; en los tableros de puentes de gran luz; y en algunos sistemas de amarre de estructuras flotantes en función de la disposición del amarre y de las condiciones de oleaje.

Con carácter indicativo se especifican las siguientes estructuras o elementos estructurales, tanto en fase de servicio como en fase de construcción, en los que deberá comprobarse la posibilidad de efectos dinámicos debidos a la actuación del viento, siempre que se encuentren en condiciones climáticas expuestas:

- Estructuras o elementos estructurales que formen parte de las mismas cuyas frecuencias naturales o propias correspondientes al primer modo de oscilación a flexión en el plano paralelo al de actuación del viento, o a torsión de eje perpendicular a la dirección del viento, sean menores que 0.5 Hz.

$$f_n < 0.5 \text{ Hz}$$

La frecuencia propia correspondiente al modo fundamental de oscilación a flexión o torsión de las estructuras deberá ser determinada, teóricamente o experimentalmente, analizando las vibraciones libres no amortiguadas del modelo estructural considerado mediante la metodología tradicional del cálculo dinámico. Para las estructuras tipo más simples podrá determinarse de forma aproximada por medio de fórmulas analíticas o empíricas simplificadas de validez reconocida. Algunas de estas fórmulas se incluyen en la tabla 3.3.1.1.

(51) Ver Apartado 2.1.2.2.1. Descripción Estadística del Viento.

(52) Ver Apartado 3.3. Efectos Dinámicos de la ROM 0.2-90. Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias.

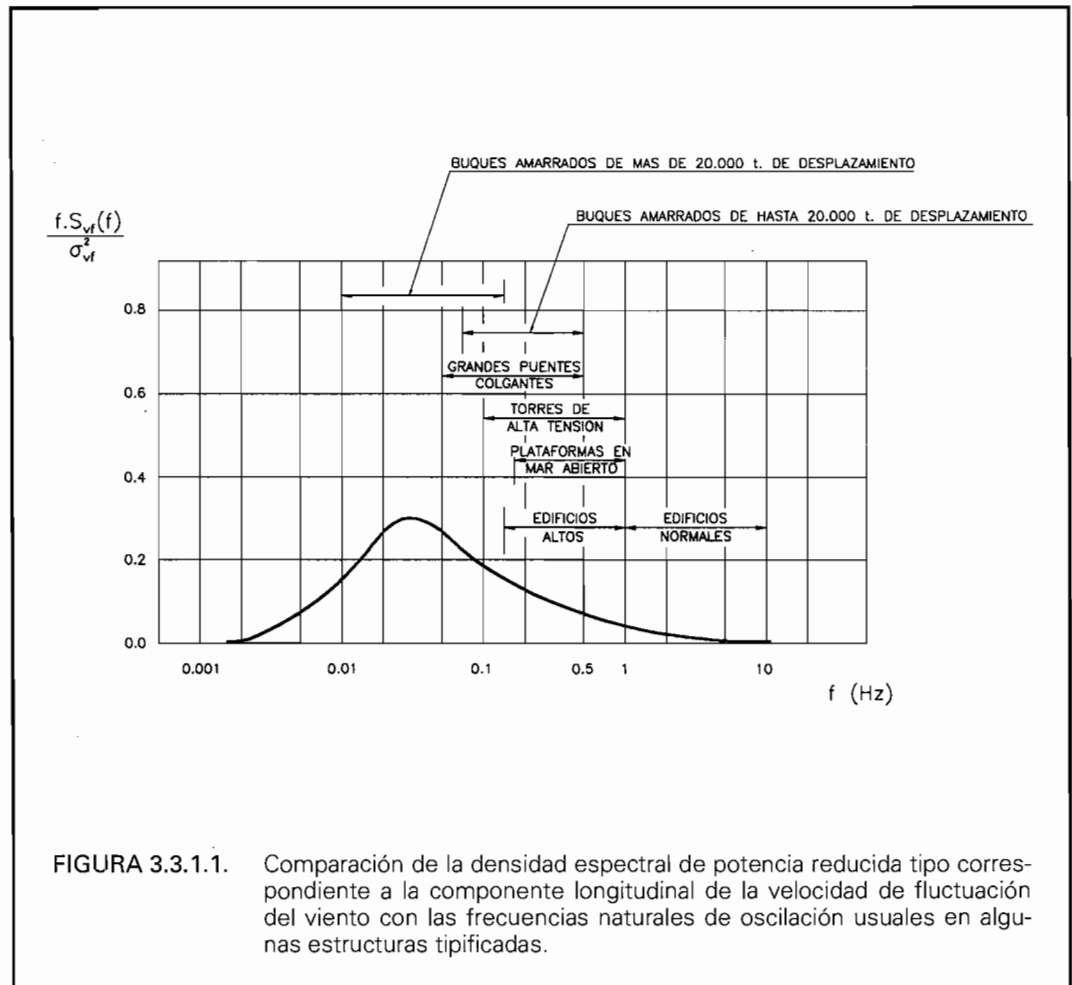


FIGURA 3.3.1.1. Comparación de la densidad espectral de potencia reducida tipo correspondiente a la componente longitudinal de la velocidad de fluctuación del viento con las frecuencias naturales de oscilación usuales en algunas estructuras tipificadas.

Simplificadamente puede considerarse que estructuras verticales en voladizo de esbeltez<sup>53)</sup>  $\lambda \geq 5$  en el plano perpendicular a la dirección de actuación del viento es muy probable que presenten frecuencias propias correspondientes al primer modo de oscilación a flexión menores de 0.5 Hz, siempre que tengan una altura superior o igual a 50 m o, si están parcialmente sumergidas, estén cimentadas a una profundidad mayor o igual a 30 m. Por lo tanto, en este tipo de estructuras deberá comprobarse especialmente la posibilidad de efectos dinámicos debidos a la actuación del viento.

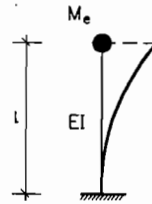
- Estructuras o elementos estructurales de las mismas cuyas frecuencias propias correspondientes al primer o segundo modo de oscilación a flexión en el plano perpendicular a la dirección de actuación del viento, o al primer modo de oscilación a torsión de eje perpendicular a la dirección del viento, coincidan con la frecuencia de la fuerza cíclica producida por la formación de remolinos en la estela generada por la interposición de la estructura al flujo de viento incidente, para una velocidad media del viento igual o menor a la correspondiente al viento de proyecto. (Ver apartado 3.3.4). Las estructuras altas y esbeltas muy lineales (*mástiles, chimeneas, torres de faros,...*) así como aquellas sustentadas sobre grandes pilas o pilotes (*plataformas en alta mar, torres de vigilancia,...*), con frecuencias de oscilación bajas ( $\leq 1\text{Hz}$ ), es muy probable que satisfagan las condiciones señaladas.
- Estructuras susceptibles de inestabilidades aerodinámicas (*acoplamiento de oscilaciones flexión-torsión, interacción ráfaga-estructura,...*) a partir de una velocidad del viento igual o menor a la correspondiente al viento de proyecto. Estructuras con frecuencia propia de oscilación a torsión próxima a la frecuencia propia correspondiente a algún modo de oscilación a flexión en el plano transversal al de ac-

(53)  $\lambda = l/b_{\alpha}$ , siendo  $l$  la mayor dimensión de la superficie proyección de la estructura en un plano perpendicular a la dirección del viento, y  $b_{\alpha}$  la menor dimensión de la misma superficie.

TABLA 3.3.1.1. FRECUENCIAS PROPIAS CORRESPONDIENTES AL MODO FUNDAMENTAL A FLEXION DE ESTRUCTURAS TIPO QUE PRESENTAN UN PLANO DE SIMETRIA VERTICAL EN LA DIRECCION DE ACTUACION DEL VIENTO (CONSTRUCCIONES VERTICALES Y HORIZONTALES)

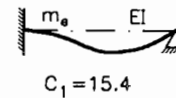
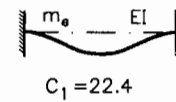
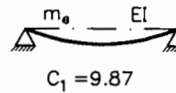
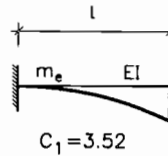
A. MASA CONCENTRADA EN EL EXTREMO DE UN SOPORTE DE MASA DESPRECIABLE

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EI}{M_e \cdot l^3}}$$



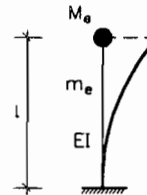
B. MASA UNIFORMEMENTE REPARTIDA EN TODA LA LONGITUD

$$f_n = \frac{C_1}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{m_e \cdot l^4}}$$



C. MASA CONCENTRADA EN EL EXTREMO DE UN SOPORTE DE MASA UNIFORMEMENTE REPARTIDA

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EI}{(M_e + \frac{33}{140} m_e \cdot l) \cdot l^3}}$$



D. MASAS SUPUESTAS CONCENTRADAS EN DIVERSOS NIVELES DE UN SOPORTE DE MASA DESPRECIABLE

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g \sum_{i=1}^n M_{ei} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n M_{ei} \cdot Y_i^2}}$$

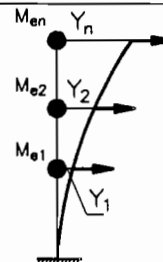




TABLA 3.3.1.1. (Continuación)

**NOTAS:** En primera aproximación y como orden de magnitud, para la determinación de frecuencias propias correspondientes a estructuras no incluidas en la presente tabla podrá asimilarse cualquier construcción a alguno de los casos en ella incluidos.

**LEYENDA:**

- E: Módulo de deformación del material del soporte o de la estructura ( $N/m^2$ ).
- I: Momento de inercia de la sección del soporte o de la estructura ( $m^4$ ).
- $M_e$ : Masa concentrada equivalente (kg).
- $m_e$ : Masa equivalente de la estructura por unidad de longitud (kg/m). La masa equivalente, tanto concentrada como por unidad de longitud, deberá incluir la masa de la estructura así como la masa de líquido eventualmente contenido en su interior. En estructuras parcialmente sumergidas deberá incluirse como masa añadida el efecto inercial del agua que rodea a la estructura. La masa añadida a considerar debido al agua externa movilizada por la estructura dependerá fundamentalmente de la geometría de la misma y de la dirección de la oscilación. Para los casos de estructuras prismáticas, la masa añadida por unidad de longitud debido al agua movilizada puede obtenerse simplificada de la tabla 3.3.1.2. Para la determinación de la masa equivalente también deberá tenerse en cuenta la posible actuación de adherencias marinas, no tanto como causantes de aumentos máxicos sino en cuanto causantes de sobreespesores importantes que puedan incrementar la cantidad de masa de agua movilizada. Para la cuantificación de adherencias marinas en las aguas costeras españolas ver tabla 3.4.1.2.1. de la ROM 0.2-90.
- l: Longitud del soporte o de la estructura (m).
- $Y_i$ : Flecha, correspondiente al punto de aplicación de la masa concentrada  $M_{ei}$ , producida por la actuación de las masas concentradas en calidad de fuerzas sobre la estructura en la dirección de la oscilación, suponiendo que las deformaciones permanecen en el dominio elástico (m).
- g: Aceleración de la gravedad ( $9.8 m/s^2$ ).

tución del viento como cables, péndolas, tableros de puentes colgantes, y otras estructuras planas muy flexibles son especialmente susceptibles a estos efectos.

- Estructuras de formas complejas en las que la acción del viento constituya la sobrecarga preponderante.
- 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 de oleaje. 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 un Estado de Viento, por lo que son esperables efectos dinámicos en el sistema de amarre que pueden dar lugar a incrementos significativos en las cargas de amarre transmitidas.

### 3.3.2. CALCULO DE LOS EFECTOS DINAMICOS CAUSADOS POR LA ACCION DEL VIENTO

Los efectos dinámicos causados por la acción del viento sobre las estructuras pueden dividirse principalmente en los siguientes tipos, en función del fenómeno físico que los origina:

**TABLA 3.3.1.2. MASA AÑADIDA QUE VALORA EL EFECTO INERCIAL DEL AGUA EXTERNA MOVILIZADA POR UNA ESTRUCTURA SUMERGIDA PRISMÁTICA DE SECCION UNIFORME, EN FUNCION DE LA DIRECCION DE LA OSCILACION**

TIPO DE SECCION		MASA AÑADIDA POR UNIDAD DE LONGITUD	
CIRCULAR		$\rho_w \cdot \pi \cdot a^2$	
ELIPTICA		$\rho_w \cdot \pi \cdot (b^2 \cdot \cos^2 \alpha_c + a^2 \cdot \sin^2 \alpha_c)$	
PLANA		$\rho_w \cdot \pi \cdot a^2$	
RECTANGULAR		$K_1 \cdot \rho_w \cdot \pi \cdot a^2$	
		a/b	$K_1$
		0.1	2.23
		0.2	1.98
		0.5	1.70
		1.0	1.51
		2.0	1.36
5.0	1.21		
10.0	1.14		
ROMBOIDAL		$K_2 \cdot \rho_w \cdot \pi \cdot a^2$	
		a/b	$K_2$
		0.2	0.61
		0.5	0.67
		1.0	0.76
2.0	0.85		
CUADRADA CON PLATABANDAS EN LAS ESQUINAS		$K_3 \cdot \rho_w \cdot \pi \cdot a^2$	
		c/a	$K_3$
		0.05	1.61
		0.10	1.72
		0.25	2.19

**LEYENDA:** -  $\rho_w$ : Densidad del agua.  
 • Agua salada:  $1.03 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$   
 • Agua dulce:  $1.00 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

- Esfuerzos y deformaciones inducidos por los movimientos de oscilación de la estructura producidos por las fluctuaciones de la presión del viento incidente (*oscilaciones de flexión en la dirección de actuación del viento o de torsión de eje perpendicular a la dirección del viento*).
- Esfuerzos y deformaciones inducidos por los movimientos de oscilación de la estructura producidos por las fluctuaciones de presión originadas por la formación de remolinos en la estela generada por la interposición de la estructura al flujo de viento incidente (*remolinos de Von Karman*) (*oscilaciones de flexión en la dirección transversal a la de actuación del viento y excitación de modos locales de la estructura*).
- Esfuerzos y deformaciones inducidos por diversos tipos de inestabilidades aerodinámicas (*acoplamiento de las oscilaciones de flexión en el plano perpendicular al de actuación del viento con las oscilaciones de torsión de eje perpendicular a la dirección del viento producidas tanto por las fluctuaciones de presión del viento incidente como por la formación de remolinos de Von Karman, interacción ráfaga-estructura, etc...*).
- Esfuerzos y deformaciones inducidos en los sistemas de amarre de estructuras flotantes por los movimientos de oscilación del sistema elástico flotador/amarras/defensas.

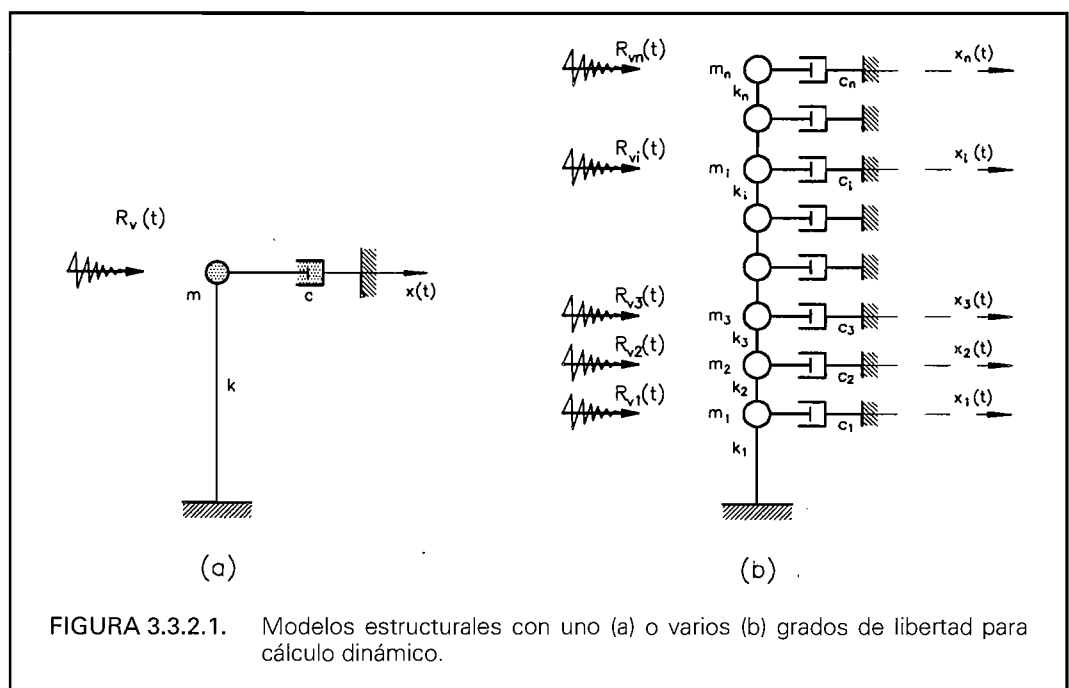
Cada uno de estos efectos deberá considerarse separadamente para el cálculo estructural, no superponiéndose los esfuerzos y deformaciones causados por cada uno de ellos.

La valoración y análisis del comportamiento dinámico de las estructuras debido a la acción del viento es muy complejo, pudiéndose realizar de forma general bien mediante modelos matemáticos o bien mediante modelos experimentales. No obstante, para algunos casos se han desarrollado métodos simplificados suficientemente aproximados que permiten considerar efectos dinámicos utilizando métodos de cálculo estático, representando las acciones dinámicas mediante acciones estáticas que producen efectos equivalentes tanto respecto a esfuerzos como a desplazamientos (*Ver apartado 3.3.3.3*).

Los modelos matemáticos resuelven mediante métodos numéricos o analíticos las ecuaciones de equilibrio dinámico sobre un determinado modelo estructural discretizado equivalente "terreno/estructura/equipos/fluido adyacente" de  $n$  grados de libertad, que represente de forma adecuada las características inerciales, de rigidez y de amortiguamiento de la estructura analizada. La resolución de este sistema de ecuaciones podrá realizarse mediante integración directa de las ecuaciones, en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia, o mediante un cálculo de superposición modal espectral.

Si la estructura considerada puede asimilarse a un modelo con un solo grado de libertad, la ecuación de equilibrio dinámico o ecuación del movimiento en régimen elástico puede expresarse como (*Ver figura 3.3.2.1*):

$$m \cdot \ddot{x}(t) + c \cdot \dot{x}(t) + k \cdot x(t) = R_v(t) \quad [3.3.1]$$



siendo:

- m, k y c constantes que representan respectivamente la masa, la rigidez y las características de amortiguamiento del modelo estructural adoptado.
- $x(t)$ ,  $\dot{x}(t)$  y  $\ddot{x}(t)$  respectivamente el desplazamiento, la velocidad y la aceleración de la masa m en la dirección de la fuerza excitadora.
- $R_v(t)$  la fuerza dinámica debida a la acción del viento.

En el caso de que la estructura considerada deba ser asimilada a un modelo con n grados de libertad (Ver figura 3.3.2.1), la ecuación [3.3.1] se convierte en un sistema de n ecuaciones, que puede expresarse en forma matricial como:

$$[M] \ddot{\vec{X}}(t) + [C] \dot{\vec{X}}(t) + [K] \vec{X}(t) = \vec{R}_v(t) \quad [3.3.2]$$

siendo:

- $[M]$ ,  $[C]$  y  $[K]$  las matrices de masas, amortiguamiento y rigidez respectivamente.
- $\vec{X}(t)$ ,  $\dot{\vec{X}}(t)$ ,  $\ddot{\vec{X}}(t)$  los vectores de desplazamientos, velocidades y aceleraciones nodales respectivamente.
- $\vec{R}_v(t)$ : Vector de cargas debidas al viento que actúan en cada punto nodal.

Si diferenciamos una respuesta media en el tiempo coincidente con la respuesta estática de la estructura para la componente media de la carga de viento ( $\overline{[X]} = \overline{[R_v]} / \overline{[K]}$ ), las ecuaciones de equilibrio dinámico pueden escribirse únicamente en términos de la componente de fluctuación alrededor del valor medio:

$$[M] \ddot{\vec{x}}(t) + [C] \dot{\vec{x}}(t) + [K] \vec{x}(t) = \vec{r}_v(t) \quad [3.3.3]$$

siendo:

- Vector de Desplazamientos:  $\dot{\vec{X}}(t) = \overline{[\dot{X}]} + \dot{\vec{x}}(t)$  [3.3.4]

- Vector de Cargas debidas al Viento:  $\dot{\vec{R}}_v(t) = \overline{[\dot{R}_v]} + \dot{\vec{r}}_v(t)$  [3.3.5]

El cálculo de los efectos dinámicos causados por la acción del viento deberá efectuarse sucesivamente para el viento actuando en las dos direcciones principales de oscilación a flexión del elemento estructural analizado y en ambos sentidos. No obstante, en el caso de estructuras de directriz horizontal el cálculo se reducirá para viento actuando únicamente en la dirección principal horizontal de oscilación a flexión.

La gran variedad de tipos estructurales existentes entre las obras marítimas y portuarias en los que pueden ser esperables efectos dinámicos significativos debidos a la acción del viento hace de difícil sistematización todos los aspectos referentes a la modelización estructural de los mismos. En cualquier caso, se utilizarán los métodos de discretización habituales en dinámica estructural y, en particular, para la definición de las matrices de masas y de rigidez serán utilizables las técnicas más habituales empleadas para obtener modelos estructurales discretos (*método de las masas concentradas, método de los elementos finitos,...*). La elección de uno u otro método y de su grado de refinamiento será función de las características y complejidad de la estructura analizada, así como del grado de precisión necesario en el cálculo. El método de las masas concentradas es el que se utiliza generalmente en los modelos más simplificados de cálculo en régimen elástico.

Como puede observarse en las ecuaciones de equilibrio dinámico, las fuerzas de amortiguamiento que se introducen son de origen viscoso (*proporcionales a la velocidad*) a pesar de que la evidencia experimental indica que el amortiguamiento en las estructuras no es de tipo viscoso sino fundamentalmente de tipo histerético (*ciclos de histéresis del material para tensiones más allá del límite elástico*). La razón más importante de su utilización práctica es su simplicidad para el cálculo, admitiéndose que dicho amortiguamiento caracteriza el amortiguamiento estructural real de toda la estructura. El modelado del amortiguamiento se hará de acuerdo con los métodos generalmente aceptados de cálculo dinámico de estructuras. En particular, en cálculo lineal se admite la obtención de matrices de amortiguamiento ortogonales mediante la expresión de amortiguamiento proporcional de Rayleigh:

$$[C] = \alpha_1 [M] + \alpha_2 [K] \quad [3.3.6]$$

definiéndose los coeficientes  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  a partir de las fracciones de amortiguamiento crítico para el primer y segundo modo de oscilación a flexión de la estructura analizada ( $\zeta_i$ ) mediante las expresiones:

$$\zeta_i = \frac{\alpha_1}{4 \cdot \pi \cdot f_{ni}} + \alpha_2 \cdot \pi \cdot f_{ni} \quad i = 1, 2 \quad [3.3.7]$$

siendo  $f_{ni}$  la frecuencia propia de la estructura correspondiente al modo de oscilación  $i$  (en Hz).

Se recomienda, siempre que sea posible, la obtención experimental de los factores de amortiguamiento. En ausencia de información más precisa, pueden tomarse simplificadaamente los valores de la fracción de amortiguamiento crítico incluidos en la tabla 3.3.2.1., en función de la frecuencia natural correspondiente al modo de oscilación a flexión considerado y del tipo de material del que está formada la estructura analizada.

Salvo casos adecuadamente justificados (*estructuras en celosía muy esbeltas o cables*), no se considerará el amortiguamiento aerodinámico.

En estructuras que contengan un fluido en su interior, así como en las estructuras parcialmente sumergidas, deberá incluirse en el modelo estructural dinámico el efecto de la interacción estructura-fluido. Esto podrá hacerse aumentando la masa de la estructura con objeto de tomar en consideración el efecto inercial del fluido, y también modificando las características de amortiguamiento de la misma. La masa añadida a considerar debido al agua externa movilizada en estructuras parcialmente sumergidas dependerá fundamentalmente de la geometría de la misma y de la dirección de la oscilación. Para los casos de estructuras prismáticas de sección uniforme, la masa añadida por unidad de longitud debido al agua movilizada puede obtenerse simplificadaamente en la tabla 3.3.1.2. En estructuras parcialmente sumergidas también deberá tenerse en cuenta la posible aparición de adherencias marinas (*crustáceos, algas, moluscos, etc...*) sobre la estructura, no tanto como causantes de aumentos máxicos no contemplados inicialmente sino en cuanto causantes de sobreesesores importantes que pueden incrementar la valoración de la masa añadida a considerar debido al agua externa movilizada<sup>54</sup>).

TABLA 3.3.2.1. VALORES TIPIFICADOS DE LA FRACCIÓN DE AMORTIGUAMIENTO CRÍTICO ( $\zeta$ )	
MATERIAL DEL QUE ESTA FORMADA LA ESTRUCTURA	$\zeta$
ESTRUCTURAS DE ACERO	$0.008 \cdot f_n \geq 0.008$
ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN	$0.008 \cdot f_n + 0.008 \geq 0.016$
ESTRUCTURAS MIXTAS	$0.012 \cdot f_n \geq 0.012$

**LEYENDA:**  $f_n$ : Frecuencia propia de la estructura correspondiente al modo de oscilación a flexión considerado (en Hz).

**NOTAS:** Para estructuras en gran parte sumergidas podrán adoptarse los valores incluidos en la tabla sumándoles 0.015.

No se considera dentro del alcance de esta Recomendación el análisis detallado de las técnicas habituales relativas a la elaboración de modelos estructurales para su aplicación al cálculo dinámico, ni tampoco de los métodos de cálculo propiamente dichos. En esta Recomendación se considera básicamente la definición numérica de la acción dinámica del viento  $[R_v(t)]$  a introducir en los diferentes modelos que resuelven el problema. Para más información sobre cálculo dinámico de estructuras deberá consultarse bibliografía

(54) Para la cuantificación de adherencias marinas en las aguas costeras españolas ver tabla 3.4.1.2.1. de la ROM 0.2-90.

especializada. No obstante, en otros documentos del Programa ROM como la ROM 0.3. Acciones Climáticas I: Oleaje y la ROM 0.6. Acción Sísmica se incluyen algunos aspectos referentes al modelado de las distintas tipologías estructurales específicamente marítimas y portuarias, así como los modelos simplificados de las mismas que se pueden adoptar en algunos casos para el análisis dinámico. Asimismo en la ROM 0.5-94. Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas se indican algunos aspectos de interés en lo referente a la modelización de la interacción suelo-estructura bajo efectos dinámicos (Ver apartado 3.10.3. El Cálculo Dinámico).

En los casos de elementos estructurales complejos o de difícil modelización estructural, formas aerodinámicas especiales, influencia importante de estructuras próximas que puedan distorsionar el flujo de viento, y para el análisis de sistemas muy completos y heterogéneos, cualquier modelo matemático deberá ser obligatoriamente contrastado con ensayos en modelo físico, bien en túnel de viento, simulando adecuadamente la variación del perfil de velocidad media del viento con la altura y las características de la turbulencia en función de la rugosidad superficial del área considerada, o bien mediante mediciones "in situ" en prototipo o en estructuras existentes de idénticas características. Asimismo deberán utilizarse ensayos para definir los parámetros resistentes dinámicos en el caso de comportamientos complejos de la estructura (*deformaciones en el rango no elástico, amortiguamientos histeréticos importantes, interacciones modales, etc...*).

### 3.3.3. DEFINICION NUMERICA DE LA ACCION DINAMICA PRODUCIDA POR LAS FLUCTUACIONES DE LA PRESION DEL VIENTO INCIDENTE

En función de que la resolución de las ecuaciones de equilibrio dinámico se realice en el dominio del tiempo o de la frecuencia, o mediante un método de superposición modal, la definición numérica de la acción dinámica del viento deberá hacerse a partir de su descripción estadística o de su descripción espectral.

#### 3.3.3.1. TRATAMIENTO EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

Si se utiliza un tratamiento en el dominio del tiempo, la acción dinámica producida por las fluctuaciones de la presión del viento incidente se determinará a partir de un registro temporal de velocidad del viento instantánea  $[V_v(t)]$  obtenido en el emplazamiento (*anemograma*) o generado artificialmente a partir de un espectro teórico tipo de validez reconocida (Ver apartado 2.1.2.2.2. Descripción Espectral del Viento), y representativo del Estado de Viento de proyecto<sup>55</sup>). La velocidad instantánea del viento puede considerarse compuesta por una velocidad media no dependiente del tiempo y por una velocidad de fluctuación o de ráfaga:

$$V_v(t) = \bar{V}_v + V_{vf}(t) \quad [3.3.8]$$

La velocidad de fluctuación en el dominio del tiempo podrá expresarse matemáticamente aplicando el análisis de Fourier de ondas compuestas al anemograma o a partir de la función de densidad espectral de la velocidad de fluctuación mediante un proceso de inversión frecuencia-tiempo<sup>56</sup>).

A partir de las premisas anteriores, para un tratamiento en el dominio del tiempo es admisible que la acción dinámica producida por las fluctuaciones de la presión del viento incidente sobre una estructura pueda expresarse simplificada como:

$$R_v(t) = \bar{R}_v + r_v(t) \quad [3.3.9]$$

siendo:

$$- \bar{R}_v \text{ (Componente media)} = C_f \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (\bar{V}_v)^2 \cdot A_e \quad [3.3.10] \quad 57)$$

$$- r_v(t) \text{ (Componente de Fluctuación)} = \beta \cdot C_f \cdot \rho \cdot \bar{V}_v \cdot V_{vf}(t) \cdot A_e \quad [3.3.11]$$

donde:

$C_f$ : Factor de Forma o Coeficiente Eólico de Fuerza (Ver apartado 3.2.2.3.1).

(55) Registro temporal con velocidad media igual a la velocidad básica del viento de proyecto corregida con objeto de tomar en consideración las condiciones específicas de proyecto (*rugosidad superficial, altura y topografía local*).

(56) Ver Apartado 2.1.2.2.2. Descripción Espectral del Viento.

- $A_e$ : Área frontal efectiva asociada a  $C_f$  (Ver apartado 3.2.2.3.1).  
 $\beta$ : Coeficiente de Influencia Aerodinámica. Este coeficiente se introduce en la fórmula [3.3.11] para tener en cuenta la influencia de la relación entre la escala de la turbulencia y las dimensiones de la estructura. Los valores de  $\beta$  para una aplicación particular deben ser determinados mediante ensayos en modelo físico en túnel de viento. Para algunas formas simples estos ya han sido determinados experimentalmente, pudiéndose encontrar en la bibliografía especializada. En ausencia de datos más precisos, podrá adoptarse del lado de la seguridad  $\beta=1$ .

Los cálculos deberán realizarse para un mínimo de tres anemogramas o registros temporales distintos representativos del Estado de Viento de Proyecto.

### 3.3.3.2. TRATAMIENTO EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

El tratamiento en el dominio de la frecuencia puede ser utilizado únicamente para análisis lineal, al contrario que el tratamiento en el dominio del tiempo que permite, en caso necesario, resolver las ecuaciones de equilibrio dinámico particularizadas para tener en cuenta aspectos no lineales tanto geométricos como del material. Como ventaja, este tipo de tratamiento requiere esfuerzos de cálculo menores.

Si se utiliza un tratamiento en el dominio de la frecuencia, la componente de fluctuación de la acción del viento se expresará en términos de densidad espectral de potencia [ $S_{r_v}(f)$ ], definida mediante la transformada de Fourier de la función de autocorrelación de  $r_v(t)$ <sup>(58)</sup>. La densidad espectral de potencia para la componente de fluctuación de la acción del viento (*Espectro de Fuerza del Viento*) podrá obtenerse a partir del espectro de ráfaga mediante la relación:

$$S_{r_v}(f) = [\beta(f)]^2 \cdot \frac{4 \cdot (\overline{R_v})^2}{(\overline{V_v})^2} \cdot S_{v_f}(f) \quad [3.3.12]$$

siendo:

$S_{v_f}$ : Espectro de Energía del Viento o Espectro de ráfaga.  
 Sin perjuicio de otras formulaciones de validez reconocida para el lugar considerado, en los cálculos es admisible utilizar de forma general el Espectro Teórico Tipo de Davenport y Harris (1971) para la velocidad media del viento de proyecto, como aproximación a los espectros reales correspondientes a la velocidad de fluctuación del viento (Ver apartado 2.1.2.2.2).

$\overline{R_v}$ : Componente media de la fuerza del viento (Ver apartado 3.3.3.1)

$\overline{V_v}$ : Velocidad media del viento de proyecto.

$\beta(f)$ : Coeficiente de Influencia Aerodinámica. Este coeficiente se introduce en la formulación para tener en cuenta la influencia de la relación entre la escala de la turbulencia y las dimensiones de la estructura. Los valores de  $\beta(f)$  para una aplicación particular deben ser determinados preferiblemente mediante ensayos en modelo físico en túnel de viento. Para algunas formas simples éstos ya han sido determinados experimentalmente, pudiéndose encontrar en la bibliografía especializada. En ausencia de otra información, para estructuras prismáticas rectangulares con relación  $b/d > 2$  (Ver

(57) Debe señalarse que la componente media de la fuerza de viento definida en la fórmula [3.3.10] está asociada a la velocidad media del viento de proyecto, por lo que no coincide con la carga de viento definida cuando no se consideran efectos dinámicos. Se recuerda que cuando no son esperables efectos dinámicos significativos, la carga estática asimilada está asociada a la velocidad de proyecto correspondiente a la duración de ráfaga (t) más corta capaz de afectar a la estructura o elemento estructural considerado dando empujes o fuerzas de arrastre efectivos sobre la totalidad de la misma, o capaz de vencer la inercia de elementos o estructuras móviles o flotantes; velocidad que siempre es mayor que la velocidad media. (Ver apartado 3.2.1.2. Velocidad del Viento de Proyecto).

(58) Como se admite que, al igual que para la distribución de velocidades de fluctuación del viento, la distribución de la componente de fluctuación de la acción es gaussiana de media cero, la integral de la función de densidad espectral de potencia correspondiente a la componente de fluctuación de la acción extendida a todo el rango de frecuencias es la varianza de la distribución. Es decir:

$$\sigma_v^2 = \int_0^{\infty} S_{r_v}(f) \cdot df = \overline{[r_v(t)]^2}$$

figura de la tabla 3.2.2.3.2) y viento actuando perpendicularmente a la superficie, podrá tomarse:

$$\beta(f) = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{2 \cdot f \cdot \sqrt{A_e}}{V_v}\right)^{\frac{4}{3}}\right]} \quad (\text{Bearman, 1969}) \quad [3.3.13]$$

siendo  $A_e$  el área frontal efectiva.

En este caso, la respuesta de la estructura debido a la componente de fluctuación de la acción podrá obtenerse en términos estadísticos (*valor medio, valor medio cuadrático,...*) por medio de funciones de densidad espectral de potencia correspondientes a la respuesta analizada [*Espectros de Respuesta  $S_x(f)$* ]. En general podrá admitirse que el efecto máximo (*máximo esfuerzo resultante, máxima deformación, ...*) debido a la componente de fluctuación del viento es igual a  $g \cdot \sigma_x$  (Davenport, 1964), siendo:

- g: Factor de pico o de fluctuación máxima.  
Este factor es función de las características del perfil de viento y de las propiedades de la estructura (*frecuencia natural, amortiguamiento,...*). No obstante varía poco y puede tomarse igual a 3.5 con carácter general.
- $\sigma_x$ : Desviación típica de la fluctuación del efecto considerado. Es decir, la raíz cuadrada del área del espectro de respuesta correspondiente.

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2} = \sqrt{\int_0^{\infty} S_x(f) \cdot df} \quad [3.3.14]$$

Los espectros de respuesta se obtienen a partir del espectro de fuerza por medio de funciones de transferencia [ $T(f)$ ] que representan el comportamiento de la estructura y que relacionan cualquier respuesta de la estructura (*desplazamientos o esfuerzos*) con la fuerza excitadora. La relación entre el espectro de fuerza y el espectro de respuesta puede expresarse como:

$$S_x(f) = |T(f)|^2 \cdot S_v(f) \quad [3.3.15]$$

siendo  $|T(f)|^2$  el módulo de la función de transferencia<sup>59)</sup>.

El efecto total del viento sobre la estructura se obtendrá añadiendo al efecto debido a la componente de fluctuación el debido a la componente media.

### 3.3.3.3. FUERZAS ESTATICAS EQUIVALENTES

Para algunas estructuras sencillas en cuanto a geometría, rigidez y distribución de masas se han desarrollado algunos métodos simplificados que permiten considerar efectos dinámicos utilizando métodos de cálculo estático, representando las acciones dinámicas producidas por el viento mediante acciones estáticas que producen efectos equivalentes tanto respecto a esfuerzos como a desplazamientos. Estos métodos tienen la ventaja de que permiten introducir la acción dinámica en el sistema habitual de cálculo estático, simplificando el proceso de cálculo.

La equivalencia suele referirse a la igualdad entre los desplazamientos máximos provocados por la acción dinámica y los debidos a las cargas equivalentes. En estas condiciones, las acciones estáticas equivalentes podrán obtenerse mediante la aplicación de factores de mayoración  $\psi_d$ , denominados factores dinámicos de carga, a la componente media de la acción de viento<sup>60)</sup>.

$$R_{v,equiv} = \psi_d \cdot \overline{R_v} \ll R_v \quad 61) \quad [3.3.16]$$

(59) Por ejemplo, para un sistema de 1 grado de libertad, el módulo de la función de transferencia correspondiente a los desplazamientos  $x$  será:

$$|T(f)|^2 = \frac{1}{k^2} \cdot \frac{1}{[1 - (f/f_n)^2]^2 + 4 \cdot \zeta^2 \cdot (f/f_n)^2}$$

siendo:

- $f_n$ : frecuencia propia de la estructura.
- $\zeta$ : fracción de amortiguamiento crítico de la estructura.

(60) La componente media de la acción del viento se define en la fórmula [3.3.10] (Apartado 3.3.3.1)



Dichos factores dinámicos dependen tanto de las características del viento (*velocidad media, perfil de velocidades, espectro de ráfaga,...*) como de las propiedades y características de la estructura considerada (*rigidez, modos de oscilación, frecuencia natural y características de amortiguamiento*). Diversos autores han obtenido diferentes formulaciones empíricas para el factor dinámico en estructuras tipificadas, desarrolladas asumiendo simplificada y diversas formas predominantes de vibración de geometría sencilla. Cada una de estas formulaciones es aplicable únicamente a la estructura tipificada correspondiente, siempre y cuando la deformación de la misma sea esencialmente según el modo fundamental de oscilación y se considere admisible un comportamiento elástico.

Sin perjuicio de otras formulaciones de validez reconocida, para estructuras verticales no sumergidas parcialmente con área frontal efectiva rectangular de altura  $h$  y ancho  $b$ , cuya deformación sea esencialmente según el modo fundamental de oscilación a flexión, podrá adoptarse un factor dinámico de carga de viento  $\psi_d$  definido por:

$$\psi_d = 1 + 3.5 \cdot r \cdot \sqrt{A + (JS/\zeta)} \quad (\text{Vickery, 1971}) \quad [3.3.17]$$

siendo:

- r: Factor de rugosidad.
- A: Factor de excitación.
- J: Factor espectral.
- S: Factor de reducción.
- $\zeta$ : Fracción de amortiguamiento crítico de la estructura<sup>62)</sup>.

Los valores de los parámetros  $r$ ,  $A$ ,  $J$  y  $S$  en función de las características del viento y de la estructura analizada pueden obtenerse en la tabla 3.3.3.1.

A falta de una justificación detallada sobre la importancia de los efectos dinámicos en sistemas de amarre de estructuras flotantes debidos a la actuación del viento o si, cuando éstos se prevén significativos, no se calculan por resolución de las ecuaciones del movimiento sobre el modelo estructural equivalente "flotador/amarras/defensas/estructura resistente" o en modelo físico, podrá considerarse simplificada y que la carga transmitida a la estructura resistente y a los equipos de amarre y defensa es igual a 1.5 veces la teórica calculada aplicando cualquiera de los métodos de transmisión estática definidos en la ROM 0.2-90<sup>63)</sup>.

Cuando el efecto dinámico de la acción de viento se tome en consideración por medio de fuerzas estáticas equivalentes, los coeficientes de seguridad a utilizar para obtener los valores de cálculo de la acción serán los mismos que los señalados para el análisis estático. Por el contrario, cuando se efectúe un análisis dinámico específico, el coeficiente de seguridad aplicado estará acorde con el procedimiento de cálculo. El proyectista deberá justificar en estos casos el criterio de seguridad adoptado.

### 3.3.4. DEFINICION NUMERICA DE LA ACCION DINAMICA PRODUCIDA POR LAS FLUCTUACIONES DE PRESION ORIGINADAS POR LA FORMACION DE REMOLINOS EN LA ESTELA GENERADA POR LA INTERPOSICION DE UNA ESTRUCTURA AL FLUJO DE VIENTO INCIDENTE

#### 3.3.4.1. DESCRIPCION DEL FENOMENO

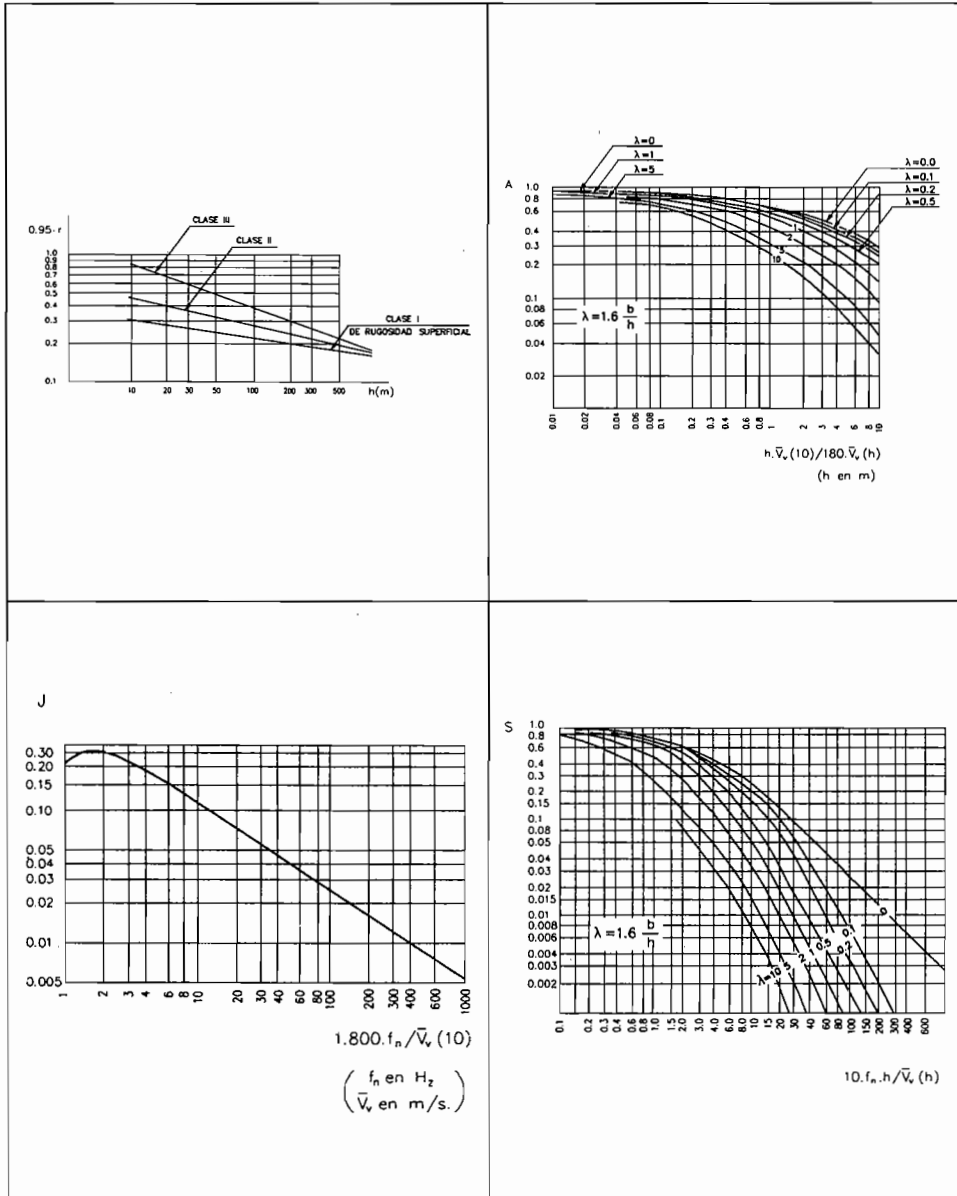
Igual que en el caso de otros flujos como el oleaje o las corrientes, el viento actuando sobre una estructura esbelta en dirección normal a su eje longitudinal puede provocar oscilaciones significativas de la misma en la dirección de actuación del viento, en la dirección perpendicular, o vibraciones de sus paredes debido a los remolinos que se forman en los puntos de despegue de la estela generada por la interposición de la estructura al flujo de viento. Los remolinos, denominados de Von Karman, aparecen alternativamente a cada lado de la estructura prácticamente en periodos regulares, y por tanto a espaciamientos regulares, de tal forma que los remolinos en un lado se sitúan en el punto medio entre dos remolinos del lado opuesto. (Ver figura 3.3.4.1.1)

(61)  $R_v$ : Fuerza resultante de presión de viento no considerando efectos dinámicos significativos, definida según el apartado 3.2.2.3.1.

(62) A falta de otros datos, pueden tomarse simplificada y los valores de la Fracción de Amortiguamiento Crítico incluidos en la tabla 3.3.2.1.

(63) Ver apartado 3.4.2.3.5.b. CARGAS DE AMARRE de la ROM 0.2-90.

**TABLA 3.3.3.3.1. ABACOS PARA LA OBTENCION DE LOS PARAMETROS  $r$ ,  $A$ ,  $J$  Y  $S$  DE LA FORMULA DE VICKERY (1971) PARA LA DETERMINACION DEL FACTOR DINAMICO  $\psi_D$  EN ESTRUCTURAS VERTICALES, NO SUMERGIDAS PARCIALMENTE, CON AREA FRONTAL EFECTIVA RECTANGULAR**



**LEYENDA:**

- $h$ : Altura del área frontal efectiva de la estructura.
- $b$ : Ancho del área frontal efectiva de la estructura.
- $f_n$ : Frecuencia propia de la estructura correspondiente al modo fundamental de oscilación a flexión en la dirección de actuación del viento.
- $\bar{V}_v(10)$ : Velocidad media del Viento de Proyecto a 10 metros de altura sobre la superficie.
- $\bar{V}_v(h)$ : Velocidad media del Viento de Proyecto a una altura  $h$  sobre la superficie.

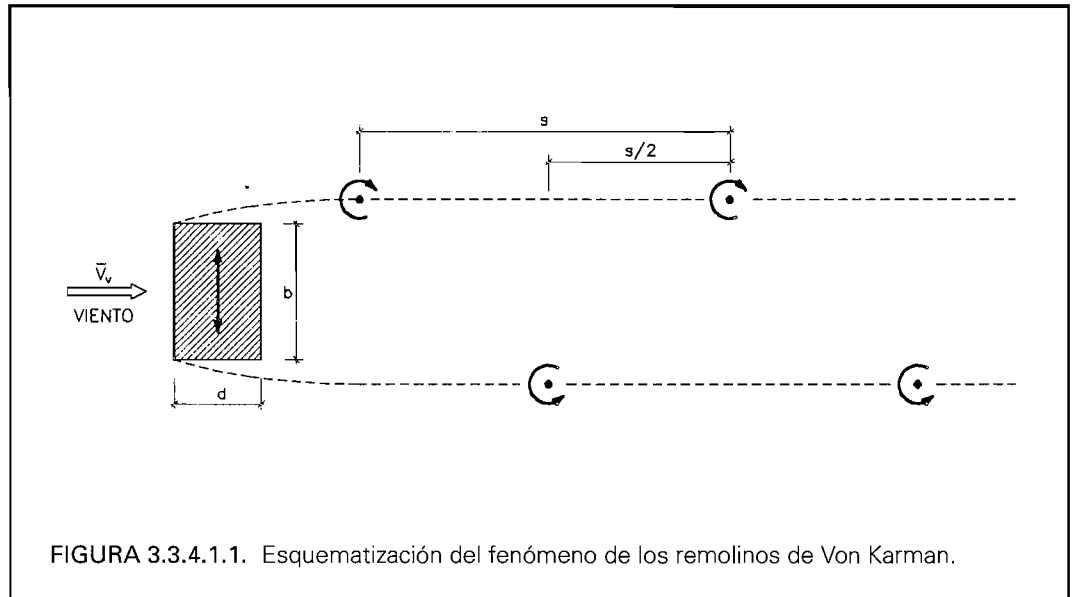


FIGURA 3.3.4.1.1. Esquemización del fenómeno de los remolinos de Von Karman.

En el caso del viento puede considerarse que este fenómeno provoca fundamentalmente una presión fluctuante sobre las superficies laterales de la construcción, y por tanto una fuerza resultante de carácter prácticamente cíclico en la dirección perpendicular a la de actuación del viento.

La frecuencia de dicha fuerza, que coincide con la de aparición de los remolinos, depende principalmente de la velocidad media del viento y de la forma y dimensiones de la sección transversal de la estructura interpuesta, pudiéndose calcular mediante la expresión:

$$f = \frac{S_t \cdot \bar{V}_v(h)}{b} \quad [3.3.18]$$

siendo:

$\bar{V}_v(h)$ : Velocidad media del viento a una altura  $h$  correspondiente al punto superior de la estructura considerada.

$b$ : Máxima dimensión de la sección transversal de la estructura en la dirección perpendicular a la de actuación del viento. (Ver figura 3.3.4.1.1).

$S_t$ : Número de Strouhal (Adimensional).  
Los valores de  $S_t$  dependen fundamentalmente de la forma de la sección transversal de la estructura y de la dirección y características del flujo de viento a través de la misma (número de Reynolds). Para las secciones estructurales más usuales pueden tomarse los valores de la tabla 3.3.4.1.1.







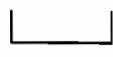
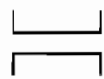


A su vez, la amplitud de la fuerza irá aumentando a medida que su frecuencia se aproxima a la frecuencia natural de oscilación de la estructura.

Se considerará que este fenómeno da lugar a efectos dinámicos significativos en una estructura, y por tanto deberá tomarse en consideración para su dimensionamiento, a partir de la velocidad media del viento para la cual la frecuencia de la fuerza producida por la aparición de los remolinos coincide con la frecuencia de la estructura correspondiente al primer o segundo modo de oscilación a flexión en el plano perpendicular a la dirección del viento, o al primer modo de oscilación a torsión de eje perpendicular a la dirección del viento ( $f_n$ ). Es decir, cuando:

$$\bar{V}_v(h) \geq V_{v,crit} = \frac{f_n \cdot b}{S_t} \quad [3.3.19]$$

Por lo tanto, este fenómeno únicamente será relevante para el dimensionamiento de la estructura considerada si la velocidad media asociada al viento de proyecto es mayor que la velocidad crítica definida en [3.3.19].

TABLA 3.3.4.1.1. NUMERO DE STROUHAL PARA DIFERENTES SECCIONES TRANSVERSALES

DIRECCION DEL VIENTO	SECCION TRANSVERSAL	$S_t$	DIRECCION DEL VIENTO	SECCION TRANSVERSAL	$S_t$
→		$10^3 \leq Re \leq 10^5$ 0.2 *)	→		$d/b \leq 1$ 0.12 *)
		$Re \geq 2 \cdot 10^6$ 0.3			$2 \leq d/b \leq 3$ 0.06
					$d/b = 3.5$ 0.15
					$d/b > 5$ 0.11
→		0.12	↔		0.15
↓		0.14	↓		0.11
→		0.15	→		0.13
↓		0.15	↓		0.14
↓		0.14	↕		0.15
↑		0.16			
←		0.10	→		0.15
↑		0.14			
↘		0.14			

NOTAS: \*) Para valores intermedios del número de Reynolds o de los intervalos  $d/b$  podrá interpolarse linealmente.

LEYENDA:  $Re$  (Número de Reynolds) =  $\bar{V}_v \cdot b / \nu \approx 0.7 \cdot 10^5 \cdot \bar{V}_v \cdot b$ ; para  $\bar{V}_v$  en m/s y  $b$  en m.

Los remolinos de Von Karman son una de las causas más usuales y conocidas de efectos dinámicos producidos por la acción del viento. Las estructuras altas y esbeltas muy lineales (*faros, mástiles, chimeneas,...*), así como aquellas sustentadas sobre grandes pilas o pilotes (*plataformas en alta mar, torres de vigilancia,...*) son especialmente vulnerables a este efecto, particularmente cuando pueden oscilar en modo voladizo. Asimismo, los elementos estructurales esbeltos de estructuras en celosía y los tableros de puentes de gran luz pueden también ser vulnerables a este fenómeno. En algunos casos la fase de construcción puede ser especialmente crítica al presentar las estructuras configuraciones constructivas cuyas frecuencias de oscilación son más pequeñas que las de servicio.

### 3.3.4.2. FUERZAS ESTATICAS EQUIVALENTES

Debido a que los efectos dinámicos resultantes de los remolinos de Von Karman son de difícil valoración tanto analítica como experimentalmente, en general deberá evitarse que los elementos estructurales tengan frecuencias de oscilación próximas a la de la fuerza resultante provocada por los mismos para velocidades medias del viento menores que la velocidad media del viento de proyecto. Esto podrá hacerse siempre que sea posible modificando adecuadamente las frecuencias naturales de oscilación de las estructuras, aumentando sus características de amortiguamiento, o eligiendo secciones estructurales o dispositivos añadidos que reduzcan la frecuencia de aparición de remolinos<sup>64</sup>.

No obstante, si se considera la posibilidad de efectos dinámicos significativos causados por remolinos de Von Karman, la estructura podrá calcularse orientativamente con una presión equivalente de carácter estático uniformemente repartida, actuando en dirección normal a la dirección de actuación del viento sobre la superficie de la proyección del contorno exterior de la construcción sobre un plano paralelo a la dirección de actuación del viento.

Para estructuras verticales aisladas y de sección transversal constante, oscilando a flexión en la dirección perpendicular a la dirección de actuación del viento, podrá adoptarse la presión estática equivalente dada por la expresión:

$$p_{equiv,remol} = \pm C_{p,remol} \cdot q_{v,remol} = \pm C_{p,remol} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{v,crit}^2 \quad [3.3.20]$$

Es decir:

$$p_{equiv,remol} = \pm C_{p,remol} \cdot \frac{V_{v,crit}^2}{1.63} \quad (\text{en S.I. de Unidades}) \quad [3.3.21]$$

siendo:

$V_{v,crit}$ : Velocidad crítica. Se define en la fórmula [3.3.19].

$C_{p,remol}$ : Coeficiente Eólico de presión estático equivalente. Este coeficiente se define matemáticamente mediante la expresión:

$$C_{p,remol} = 4 \cdot \varphi \cdot \sqrt{\frac{S_s \cdot B_s}{\zeta}} \quad [3.3.22]$$

donde:

$\varphi$ : Factor de mayoración. Toma en consideración la amplificación del efecto resultante debido a los movimientos de la estructura producidos por los remolinos. El valor de este factor puede obtenerse a partir de la tabla 3.3.4.2.1. en función del desplazamiento horizontal del punto superior de la estructura ( $y_{sup}$ ) en la dirección perpendicular a la de actuación del viento producido por una presión igual a la  $p_{equiv,remol}$  correspondiente a  $\varphi = 1$ , y de la máxima dimensión de la sección transversal de la estructura en la dirección de actuación del viento ( $d$ ) (Ver figura 3.3.4.1.1).

$S_s$ : Factor de intensidad de la turbulencia de la estela. Se define en función del número de Reynolds correspondiente a la velocidad crítica. (Ver tabla 3.3.4.2.1)<sup>65</sup>.

$B_s$ : Factor de reducción. Toma en consideración la no simultaneidad de los valores máximos de las fluctuaciones de presión a lo largo de toda la estructura. El valor de este factor puede obtenerse de la tabla 3.3.4.2.1. en función de la relación  $d/l$ , siendo  $l$  la longitud vertical de la estructura expuesta a la acción del viento.

$\zeta$ : Fracción de amortiguamiento crítico de la estructura<sup>66</sup>.

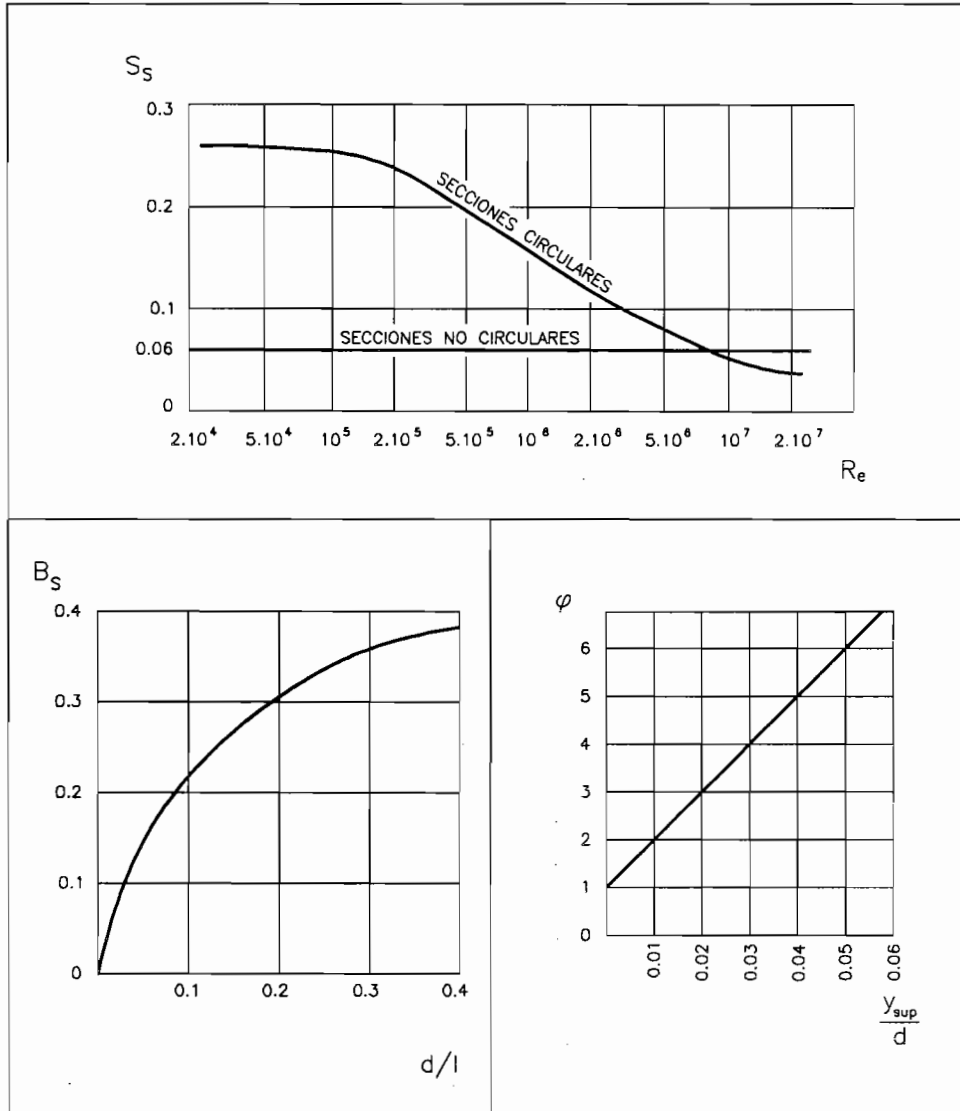
Cuando se trate de estructuras idénticas alineadas en la dirección del viento, a partir de la segunda construcción se considerarán presiones estáticas equivalentes mayoradas respecto a las definidas para la estructura aislada, con el objeto de tomar en consideración el efecto de los remolinos generados en las estructuras precedentes. Podrá tomarse un coeficiente de mayoración igual a 2 si la separación entre elementos es menor que 7b y un coeficiente obtenido por interpolación lineal entre 2 y 1 si la separación está comprendida entre 7b y 14b, siendo b la máxima dimensión de la sección transversal de la estructura en la dirección perpendicular a la de actuación del viento.

(64) P.e. las secciones rectangulares o en T se comportan mejor ante este fenómeno que las secciones circulares, al corresponderles un número  $S_t$  menor. (Ver Tabla 3.3.4.1.1). Asimismo la colocación en el tercio superior de la estructura de aletas verticales o helicoidales de sección rectangular son métodos eficaces para reducir la frecuencia de aparición de remolinos.

(65) Para la definición del número de Reynolds, ver leyenda de la tabla 3.3.4.1.1.

(66) A falta de otros datos, pueden tomarse simplídicamente los valores de la Fracción de Amortiguamiento Crítico incluidos en la tabla 3.3.2.1.

**TABLA 3.3.4.2.1. ABACOS PARA LA OBTENCION DE LOS PARAMETROS INCLUIDOS EN LA FORMULA DE LA PRESION ESTATICA EQUIVALENTE PARA EL CALCULO DE LOS EFECTOS DINAMICOS PRODUCIDOS POR LOS REMOLINOS DE VON KARMAN**



### 3.3.5. ANALISIS DE FATIGA

En aquellas estructuras o elementos estructurales con efectos dinámicos significativos debidos a la actuación del viento se presentan variaciones repetidas de sus estados tensionales que pueden hacer necesaria la comprobación del Estado Límite de Fatiga<sup>(67)</sup>. En estos casos, la comprobación de la resistencia a fatiga deberá tomarse en consideración en aquellas estructuras o elementos estructurales para los cuales el viento sea la acción de efecto predominante y además la contribución de la componente de fluctuación de la carga del viento de proyecto a las tensiones máximas de tracción o compresión en servicio, incluyendo la amplificación dinámica, sea superior al 40 % respecto a las tensiones máximas totales correspondientes a las combinaciones de acciones que le sean de aplicación.

(67) Ver Parte 4. ROM 0.2-90.

Por tanto, es previsible que deban realizarse análisis de fatiga especialmente en aquellas estructuras sometidas a efectos dinámicos producidos por las fluctuaciones de presión originadas por la formación de remolinos en la estela generada por la interposición de la estructura al flujo de viento incidente.

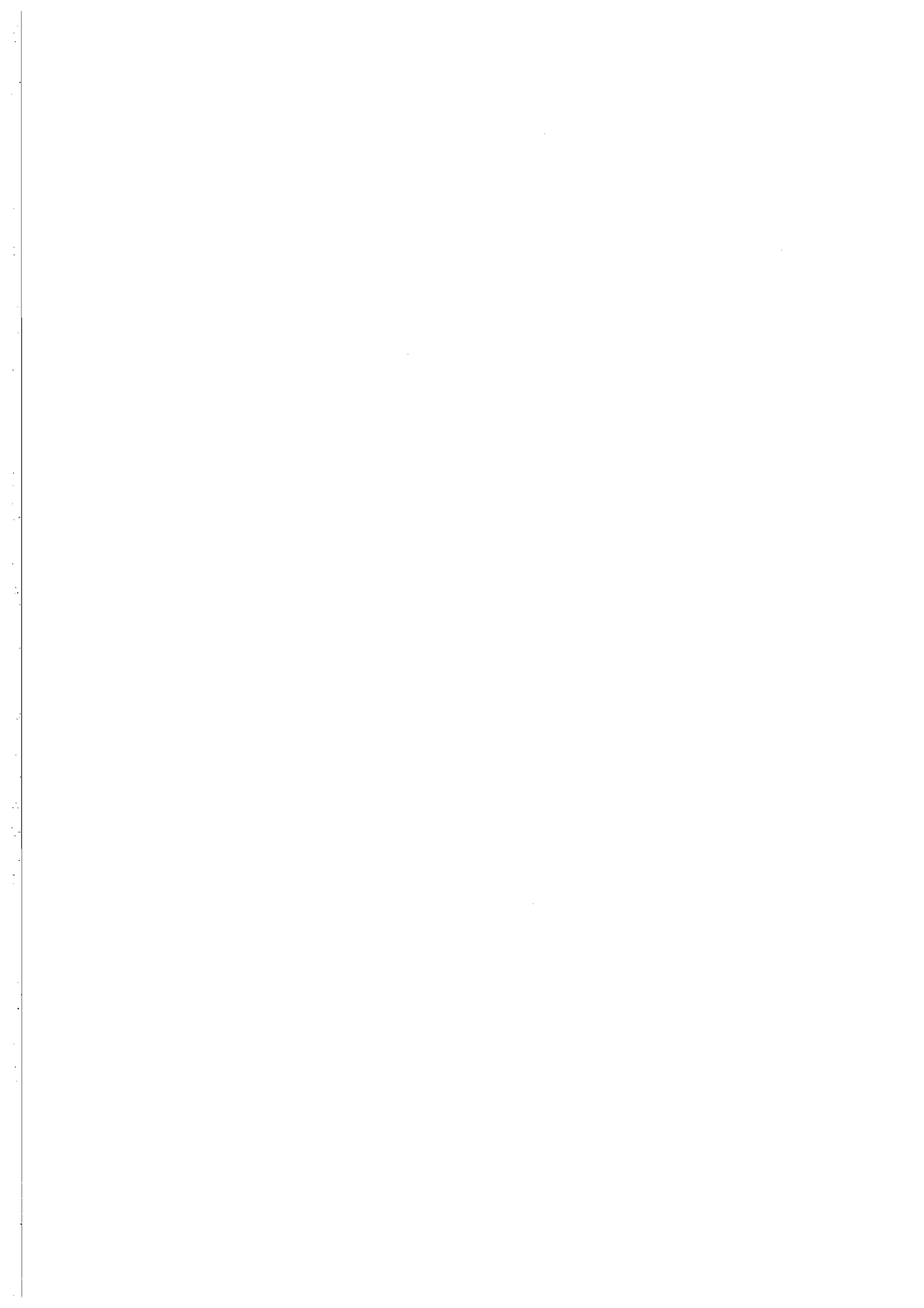
Los principales parámetros dependientes directamente de la acción del viento necesarios para la comprobación del E.L.U. de Fatiga en una estructura son:

- La magnitud de las máximas fluctuaciones tensionales que produce la componente de fluctuación del viento en relación a los valores medios, para diferentes velocidades medias del viento. Podrá obtenerse por medio de los métodos de análisis dinámico descritos en los apartados precedentes.
- El número de fluctuaciones correspondientes a cada nivel tensional adoptado. Para ello deberán tenerse en cuenta todos los Estados de Viento en la dirección considerada que actuarán sobre la estructura resistente durante su vida útil, conjuntamente con la respuesta dinámica de la estructura a los mismos. La distribución de Estados de Viento durante la vida útil en un emplazamiento determinado podrá obtenerse a partir de los regímenes medios anuales de velocidad de viento en la zona considerada.

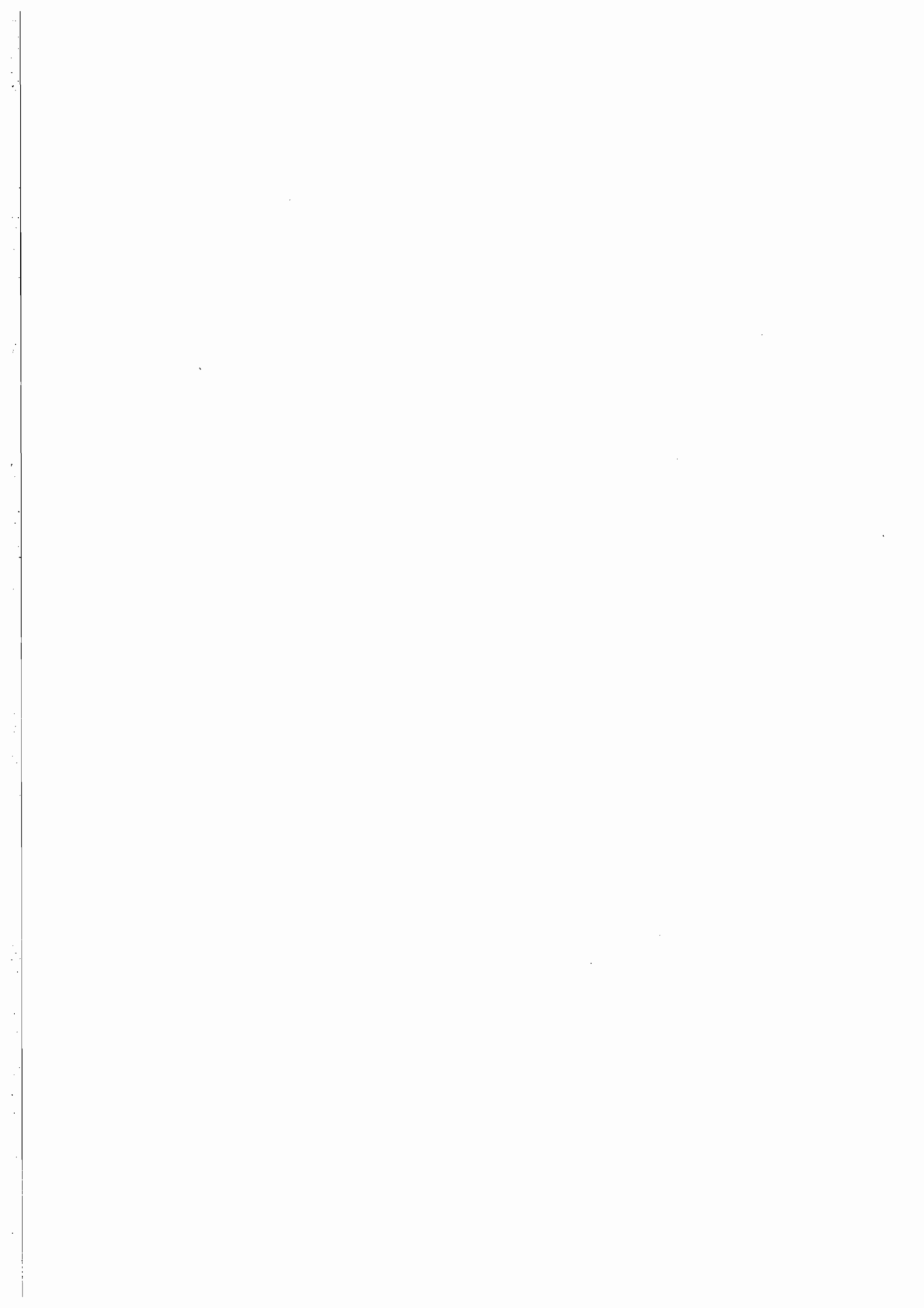




I.7.1.	Metodología para la determinación de la Velocidad del Viento de Proyecto a partir del Atlas de Viento del Litoral Español .....	231
--------	---	-----



I.2.1.	Zonificación del litoral español a efectos de caracterización del viento.....	174
I.4.1.	Localización de las estaciones costeras consideradas y altura de los puntos de medición sobre la superficie del terreno.....	177
I.6.1.1.	Atlas de Viento del Litoral Español .....	187
	<i>Caracterización Media</i>	
	Area I .....	187
	Area II .....	189
	Area III .....	191
	Area IV .....	193
	Area V .....	195
	Area VI .....	197
	Area VII .....	199
	Area VIII .....	201
	Area IX .....	203
	Area X .....	205
	<i>Caracterización Extremal</i>	
	Area I .....	207
	Area II .....	209
	Area III .....	211
	Area IV .....	213
	Area V .....	215
	Area VI .....	217
	Area VII .....	219
	Area VIII .....	221
	Area IX .....	223
	Area X .....	225



## I.1. PLANTEAMIENTO GENERAL

Llegar a la caracterización y previsión de todas las variables climáticas en el litoral español es imprescindible para poder abordar seriamente cualquier estudio o proyecto de ingeniería marítima que se desee emprender en dicho ámbito geográfico. Esto es especialmente importante para el viento ya que, conjuntamente con el oleaje, es el fenómeno fundamental que condiciona cualquier proyecto de construcción y explotación de instalaciones portuarias, así como los procesos de transporte litoral y de dispersión de contaminantes o de productos de dragado.

La inexistencia hasta el momento en España de Normas específicas de Viento que permitan la definición de vientos de proyecto asociados a niveles de probabilidad de presentación o riesgo durante cada una de las fases de proyecto, así como la valoración de niveles de operatividad dependientes del viento, hacen necesario para cada uno de los proyectos o estudios que se llevan a cabo proceder previamente a la realización de los trabajos de caracterización media y extremal del viento en la zona considerada, con el objeto de que, entre otros, los criterios de valoración y combinación de acciones establecidos de forma general en la ROM 0.2-90, Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias pueda ser aplicado.

Con objeto de evitar que el proyectista deba proceder sistemáticamente, y en todos los casos, a la localización y análisis estadístico de los datos brutos de viento disponibles necesarios para la completa definición del viento en una zona determinada, este Anejo pretende proporcionar al mismo toda la información elaborada disponible. Esta información simplificará en los casos generales los trabajos del proyecto y orientará la toma de decisiones del Proyectista, del Cliente, o de la Autoridad Competente en este campo. Asimismo facilitará la definición de vientos de proyecto a lo largo de toda la costa española, permitiendo la obtención de los valores de aquellos parámetros representativos del viento necesarios para el proyecto de toda obra marítima tanto estructuralmente como funcionalmente.

Como consecuencia de las características y limitaciones de la información de viento disponible, los valores incluidos en este Anejo definen de forma aproximada, y no completa, las características del viento en el litoral español. La actualización periódica de la información de partida, el aumento de la cantidad y de la calidad de la información instrumental disponible sobre todo para datos de viento sobre el mar, el análisis estadístico unidimensional y bidimensional de un mayor número de parámetros representativos del viento, y el desarrollo de nuevos procedimientos de análisis extremal que permitan el contraste de los regímenes extremales y la reducción de la incertidumbre asociada en la actualidad a los mismos, deben ser aspectos prioritarios de cara a mejorar los resultados, y consecuentemente a optimizar cualquier diseño marítimo o portuario.

En el momento actual, y en ausencia de una información local más precisa, completa y fiable, los resultados recogidos en esta Recomendación pueden resultar bastante orientativos para la caracterización del viento en el litoral español.

## I.2. ZONIFICACION DEL LITORAL ESPAÑOL

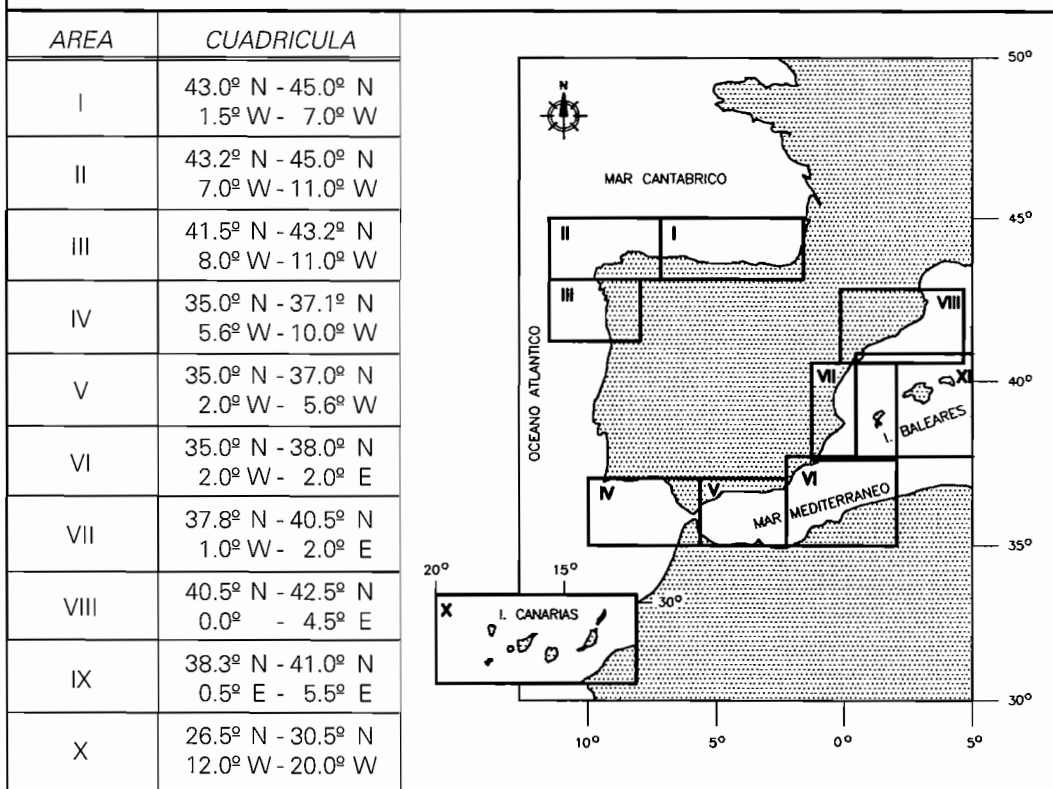
Para el análisis de la información disponible, particularmente la correspondiente a datos de viento sobre el mar procedentes de observaciones desde buques en ruta, se han mantenido por homogeneidad las diez áreas diferenciadas establecidas en el Atlas de Clima Marítimo en el Litoral Español (*Ver ROM 0.3-91 Oleaje. Anejo I*). Dichas áreas fueron definidas fundamentalmente en función de características climáticas relativamente homogéneas y de la configuración de la costa. La zonificación considerada, así como las coordenadas geográficas límites de cada una de las áreas correspondientes, se definen en la tabla I.2.1.

Dicha zonificación permite aceptar en líneas generales que las características medias del viento sobre la superficie en mar abierto son aproximadamente las mismas en todos los puntos del área, al considerarse que el viento en dicha zona está originado en la mayor

parte de los casos por los mismos gradientes de presión atmosférica. No obstante, el grado de fiabilidad de los resultados en todos los puntos del área puede verse afectado significativamente por efectos mesoescalares como los efectos embudo o encauzamiento (*p.e. en las proximidades del estrecho de Gibraltar o del Delta del Ebro*). En estos casos, para algunas aplicaciones pueden ser necesarios estudios complementarios más detallados considerando áreas climáticamente homogéneas más reducidas.

Por el contrario, la zonificación propuesta no permite aceptar que las características extremas del viento sobre la superficie del mar sean las mismas en todos los puntos del área. En este caso los resultados obtenidos pueden considerarse representativos únicamente de los puntos del área con vientos más fuertes, y por tanto pueden tomarse como indicadores cualitativos, del lado de la seguridad, del grado de magnitud de los vientos en el área marítima analizada. La consideración de áreas climáticas homogéneas más reducidas, así como la correlación de los resultados con aquéllos obtenidos a partir de datos registrados en estaciones costeras próximas, será imprescindible para la estimación de las características extremas del viento en cada uno de los puntos del área.

TABLA I.2.1. ZONIFICACION DEL LITORAL ESPAÑOL A EFECTOS DE CARACTERIZACION DEL VIENTO



### I.3. METODOLOGIA DE DETERMINACION

La caracterización del viento en el Litoral Español recogida en este Anejo ha sido realizada por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) a través del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC), y por el Instituto Nacional de Meteorología a través del Servicio de Climatología, por encargo de Puertos del Estado específicamente para su inclusión en el Programa ROM.

La metodología utilizada se basa en el análisis estadístico de la información disponible procedente de dos fuentes distintas:

- Observaciones desde Buques en Ruta con información direccional, almacenados en la Base de Datos Visuales del CEPYC, creada a partir de los datos suministrados por el National Climatic Data Center de Asheville (*Carolina del Norte, USA*).

- Datos Instrumentales Escalares registrados en Estaciones Costeras pertenecientes a la Red del Instituto Nacional de Meteorología.

Analizando conjuntamente toda la información disponible procedente de ambas fuentes y teniendo en cuenta la utilidad práctica de los resultados, la definición del viento en el litoral español se lleva a cabo obteniendo las siguientes relaciones de caracterización del viento en cada una de las áreas definidas o estaciones de medición:

- Distribución conjunta Velocidad del Viento/Dirección, representada gráficamente en forma de Rosa de Vientos. Se consideran sectores direccionales de  $22.5^\circ$  de amplitud (16 rumbos).
- Frecuencias de presentación sectoriales.
- Análisis estadístico unidimensional de la variable velocidad del viento para dos tipos de situaciones:
  - Regímenes Medios
  - Regímenes Extremales
- Análisis de la persistencia estadística de la velocidad del viento, definida en términos de probabilidad de excedencia de las duraciones y de duración media de la persistencia en el año climático medio, para superaciones o no superaciones de una serie de valores prefijados de velocidad del viento.

La diferente estructura, calidad, y características que presentan los datos de partida hace que los de origen instrumental, procedentes de estaciones costeras, y los procedentes de observaciones desde buques en ruta se complementen entre sí y faciliten la completa definición del viento en el litoral español.

De esta forma, la caracterización media del parámetro velocidad del viento en condiciones de mar abierto se realiza principalmente a partir de los datos procedentes de observaciones desde buques en ruta, los cuales al contrario que los procedentes de estaciones costeras incorporan información direccional. Para condiciones medias estos datos son menos dispersos geográficamente que los procedentes de estaciones costeras y más homogéneos respecto a factores que pueden modificar la velocidad y dirección del viento como son la rugosidad superficial, la altura y las condiciones topográficas locales en el punto de medición. Sin embargo, son menos homogéneos respecto a las características de la velocidad del viento suministrada.

Por el contrario, debido a la ausencia de observaciones desde buques en ruta durante los grandes temporales como consecuencia de la tendencia de los buques a navegar en condiciones de buen tiempo, la caracterización extremal de la velocidad del viento sobre el mar se realiza básicamente a partir de la información instrumental disponible procedente de estaciones costeras, extrapolada a condiciones de mar abierto y a 10 m de altura teniendo en cuenta las características físicas del punto de medición (*altura, rugosidad superficial, y topografía local*). No obstante, los resultados obtenidos se complementan con los procedentes del análisis de la información procedente de observaciones desde buques en ruta en el área adyacente. El contraste de los resultados obtenidos a partir de las dos fuentes de información permite la estimación de la evolución de las características extremales de la velocidad del viento en el área marítima analizada desde el litoral hasta alta mar (*Ver Cuadros B4 de la Tabla I.6.1.1. Atlas de Viento del Litoral Español*).

#### **I.4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA INFORMACION ANALIZADA**

La información analizada correspondiente a observaciones desde buques en ruta procede del Banco de Datos Visuales del CEPYC, la cual ha sido suministrada por el National Climatic Data Center de Asheville (*Carolina del Norte, USA*). Dicha información cubre todas las áreas definidas para la caracterización del viento en el litoral español, y abarca observaciones realizadas desde el año 1885 hasta 1985. Esta información presenta una variación muy irregular en cuanto al número de observaciones, sobre todo con anterioridad al año 1944, existiendo años con tan sólo una observación y otros, aleatoriamente distribuidos, con un gran número de datos.

La información procedente de observaciones desde buques en ruta recoge la intensidad y dirección del viento. Dependiendo de la procedencia del registro (*tipo de buque*) y de la fecha de observación, la velocidad del viento ha sido obtenida bien subjetivamente, esti-

mándola a partir de las condiciones de navegabilidad del buque conjuntamente con las del estado del mar, o bien mediante la ayuda de instrumentos de medida a bordo. La intensidad del viento se suministra expresada en nudos y abarca desde la calma total (0 nudos) hasta un máximo de 199 nudos. La información direccional se presenta agrupada en sectores de 10° o 11.25°.

La información instrumental considerada procede de datos escalares registrados en las estaciones costeras de la Red del Instituto Nacional de Meteorología con información fiable suficiente para la representatividad de los análisis estadísticos a realizar. Se ha analizado información procedente de 39 estaciones costeras, distribuidas entre las 10 áreas definidas.

Esta información recoge los parámetros velocidad media o velocidad instantánea máxima del viento medida en nudos, m/s o km/h, procedente de registros continuos uniformemente espaciados en el tiempo en general entre 1 y 3 horas. Dicha información no es homogénea al ser variables las características físicas del punto de medición en cada estación (*altura de la medición sobre la superficie del terreno, características de rugosidad superficial y condiciones topográficas locales*). El periodo de medida considerado en cada estación para cada uno de los análisis estadísticos es variable en función de la operatividad de la misma, de la calidad y grado de fiabilidad de la información registrada, y del parámetro velocidad considerado. Se ha operado con el periodo 1960-1990, siendo la media de tiempo analizado de 10 años para la velocidad media y de 20 años para la velocidad instantánea.

La localización aproximada de las estaciones costeras consideradas y la altura del punto de medición sobre la superficie del terreno en cada una de ellas se incluyen en la tabla I.4.1.

## **I.5. CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS RESULTADOS**

### **I.5.1. DISTRIBUCION CONJUNTA VELOCIDAD DEL VIENTO/DIRECCION. ROSA DE VIENTOS**

Para cada una de las áreas marítimas correspondientes a la zonificación establecida del litoral español se obtiene la distribución bivariada velocidad del viento/dirección, o frecuencia de presentación de velocidades de viento en cada sector direccional ( $V_{ve}/\alpha$ ), representándose gráficamente en forma de Rosa de Vientos Anual. Este análisis se ha realizado utilizando todos los datos brutos procedentes de observaciones desde buques en ruta disponibles en el Banco de Datos Visuales del CEPYC y contenidos en cada una de las cuadrículas consideradas.

Con el fin de que la representación gráfica de la distribución bivariada en forma de Rosa de Vientos sea sencilla y clara (*sin excesivos intervalos de la variable*), la elaboración de las Rosas se ha llevado a cabo en la escala Beaufort de velocidades de viento<sup>68)</sup>, considerando sectores direccionales de 22.5° de amplitud. Las frecuencias se dan en tanto por ciento.

Dado que los datos considerados procedentes de observaciones desde buques en ruta abarcan un gran periodo de tiempo, las Rosas de Viento incluidas en este Anejo pueden considerarse suficientemente válidas para caracterizar direccionalmente al viento en el litoral español de forma cualitativa, al permitir identificar cuál es en cada zona la dirección reinante o más frecuente, y la dominante o que presenta intensidades mayores.

### **I.5.2. REGIMENES MEDIOS ESCALARES**

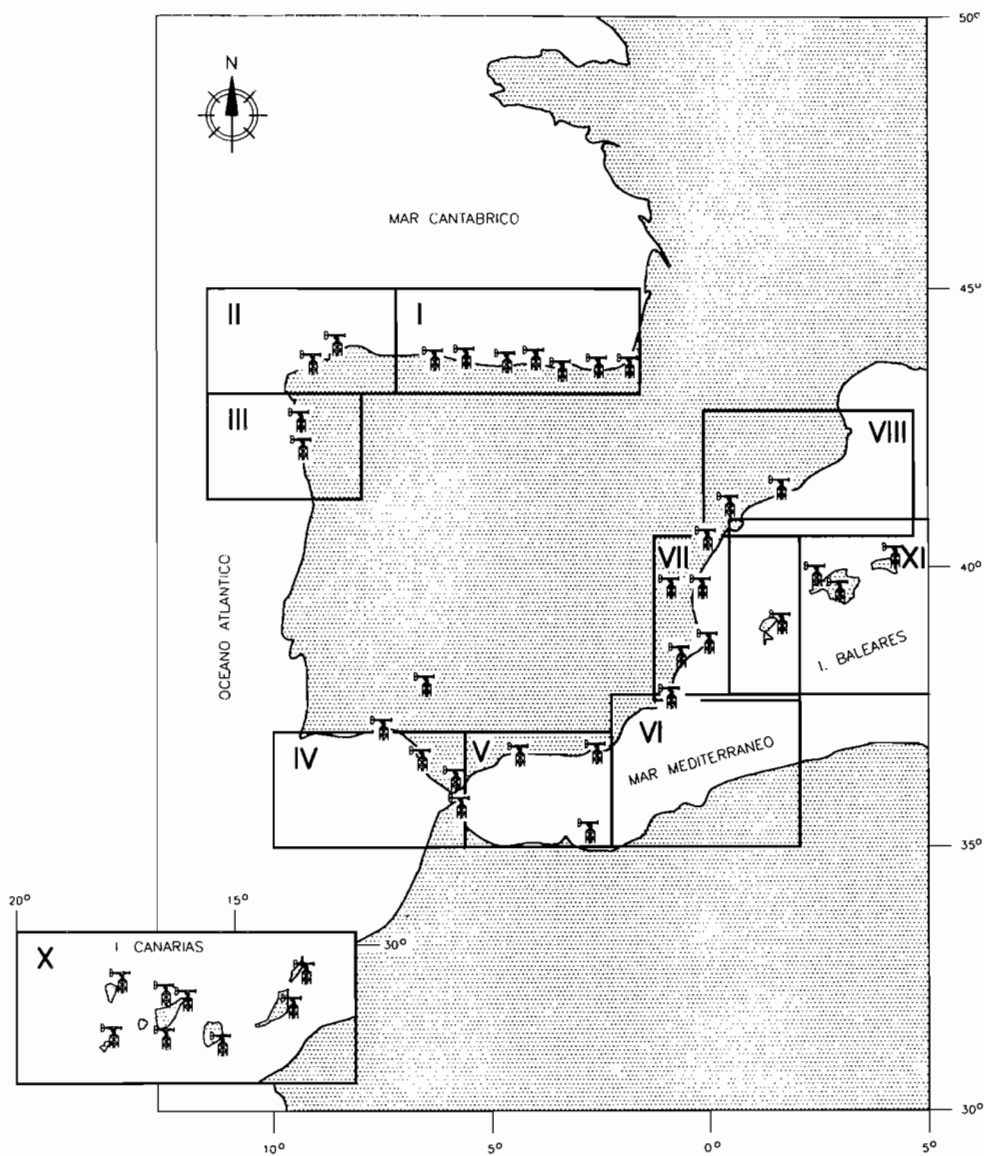
Los regímenes medios escalares incluidos en este Anejo son los regímenes medios anuales de la velocidad del viento.

La estima de dichos regímenes medios se ha realizado tanto a partir de datos instrumentales para cada una de las estaciones costeras analizadas, como a partir de datos procedentes de observaciones desde buques en ruta para cada una de las áreas marítimas establecidas.

(68) Ver Tabla 2.2.2.2.1. Escala Beaufort de Velocidad del Viento. Equivalencia entre el número Beaufort y la velocidad media del viento a una altura de referencia de 10 m sobre la superficie en mar abierto o campo abierto plano sin obstáculos.



TABLA I.4.1. LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES COSTERAS CONSIDERADAS Y ALTURA DE LOS PUNTOS DE MEDICION SOBRE LA SUPERFICIE DEL TERRENO



ESTACION COSTERA DEL INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA

TABLA I.4.1. (Continuación)

AREA	ESTACION COSTERA	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD (m)	ALTURA (m)
I	SAN SEBASTIAN (Aeropuerto)	1º - 47' W	43º - 21' N	8	17
	SAN SEBASTIAN (C.M.T.)	1º - 57' W	43º - 19' N	25	17
	BILBAO (Aeropuerto)	2º - 55' W	43º - 18' N	34	15
	SANTANDER (Centro)	3º - 46' W	43º - 28' N	65	19
	SANTANDER (Aeropuerto)	3º - 49' W	43º - 25' N	1	6
	GIJON	5º - 38' W	43º - 32' N	10	6
	ASTURIAS (Aeropuerto)	6º - 1' W	43º - 33' N	130	7
II	MONTEVENTOSO	8º - 15' W	43º - 29' N	240	12
	LA CORUÑA	8º - 25' W	43º - 22' N	67	6
III	MARIN	8º - 42' W	42º - 24' N	14	28.5
	VIGO (Aeropuerto)	8º - 38' W	42º - 13' N	256	9
IV	HUELVA	6º - 57' W	37º - 16' N	26	21
	SEVILLA (S. Pablo)	5º - 53' W	37º - 25' N	20	7
	SAN FERNANDO	6º - 12' W	36º - 28' N	30	1.4
	TARIFA	5º - 36' W	36º - 00' N	37	7
V	CEUTA	5º - 18' W	35º - 55' N	200	6
	MALAGA (Aeropuerto)	4º - 29' W	36º - 40' N	10	10
	ALMERIA (Aeropuerto)	2º - 22' W	36º - 51' N	21	4
	MELILLA	2º - 57' W	35º - 17' N	55	10
VI	SAN JAVIER (C.H.S)	0º - 50' W	37º - 48' N	1	10
VII	ALICANTE (El Altet)	0º - 33' W	38º - 17' N	31	13
	ALICANTE (Ciudad Jardín)	0º - 30' W	38º - 22' N	82	9.5
	VALENCIA (Manises)	0º - 28' W	39º - 29' N	62	20
	VALENCIA	0º - 23' W	39º - 29' N	11	19.6
	CASTELLON (Almanzora)	0º - 4' W	39º - 57' N	35	18
VIII	TORTOSA	0º - 30' E	40º - 29' N	50	12
	BARCELONA (Aeropuerto)	2º - 5' E	41º - 18' N	6	25
IX	IBIZA (Aeropuerto)	1º - 23' E	38º - 52' N	11	10
	PALMA (Observatorio)	2º - 37' E	39º - 33' N	3	9
	PALMA (Aeropuerto)	2º - 44' E	39º - 33' N	4	8
	MENORCA (Aeropuerto)	4º - 15' E	39º - 53' N	82	10
X	HIERRO (Aeropuerto)	17º - 52' W	27º - 48' N	34	2
	LA PALMA (Aeropuerto)	17º - 45' W	28º - 37' N	40	7
	AEROPUERTO REINA SOFIA	16º - 34' W	28º - 3' N	64	9.5
	TENERIFE (Los Rodeos)	16º - 19' W	28º - 28' N	617	12
	SANTA CRUZ DE TENERIFE	16º - 15' W	28º - 28' N	30	16
	LAS PALMAS (Aeropuerto)	15º - 23' W	27º - 55' N	24	10
	FUERTEVENTURA (Aeropuerto)	13º - 51' W	28º - 27' N	29	12
	LANZAROTE (Aeropuerto)	13º - 36' W	28º - 56' N	21	10

Los regímenes obtenidos son los correspondientes a los parámetros velocidad del viento estimada desde buques en ruta ( $V_{v,e}$ ) y a velocidad media del viento en el punto de medición ( $V_v = V_{v,10min}$ ) respectivamente. Con el objeto de facilitar el contraste de resultados obtenidos a partir de las dos fuentes de información, podrá utilizarse orientativamente la relación siguiente:

$$V_{v,e} \approx V_{v,1min}(10\text{ m}) = 1.31 \cdot V_{v,10min}(10\text{ m}) \quad (69) \quad [I.5.1]$$

Para el contraste de resultados, éstos deberán homogeneizarse por medio de los factores de velocidad del viento (Ver apartado 2.1.4) con el objeto de considerar la influencia en la velocidad del viento de las características físicas del punto de medición, fundamentalmente la rugosidad superficial y la altura de la medición sobre la superficie del terreno. Este último dato para cada estación costera puede encontrarse en la tabla I.4.1.

La determinación de los regímenes medios escalares de velocidad del viento estimada desde buques en ruta se ha realizado mediante la siguiente metodología<sup>(70)</sup>:

- Utilización de toda la información bruta procedente de observaciones desde buques en ruta disponible en el Banco de Datos Visuales del CEPYC, correspondiente a observaciones realizadas desde 1885 a 1985.
- Cálculo a partir del histograma acumulado de velocidades del viento.
- Cálculo de la probabilidad de no excedencia de los distintos niveles de velocidad del viento, tomando intervalos de una unidad Beaufort. Por tanto, el intervalo de clase fijado, expresado en nudos o m/s, es irregular. Para cada valor de la variable, la probabilidad de no excedencia se obtiene como cociente entre el número de observaciones que no exceden ese valor y el número total de observaciones. Las calmas han sido englobadas en el intervalo menor correspondiente al número Beaufort 1 (1 a 3 nudos).
- Ajuste de la muestra obtenida a una función de distribución de Weibull biparamétrica por el método de mínimos cuadrados.

La determinación de los regímenes medios escalares de velocidad media del viento instrumental se ha realizado con igual metodología que la utilizada para regímenes medios de velocidad del viento estimada con las siguientes diferencias:

- Utilización de toda la información instrumental fiable registrada en cada una de las estaciones costeras durante el periodo 1960-1990, correspondiente al parámetro velocidad media. El periodo medio analizado es de 10 años, no siendo nunca menor de 5 años.
- Para el cálculo de las probabilidades de no excedencia no se han tenido en cuenta las calmas ( $V_{v,10min} \leq 1$  nudo), por no ser representativo debido al umbral de la instrumentación.
- La estima de la función de distribución Weibull biparamétrica se ha realizado gráficamente dando más peso a la zona central del régimen.

Los regímenes se representan gráficamente en papel probabilístico correspondiente a la función de Weibull Biparamétrica, cuyas ordenadas son las velocidades del viento en m/s y en nudos, y cuyas abcisas son las probabilidades de no excedencia. La utilización de este soporte gráfico tiene por objeto la representación de los distintos regímenes medios mediante rectas.

Dado el volumen de información analizada y a pesar de que la calidad de esta información no es muy elevada, las estimas medias escalares contenidas en este Anejo pueden considerarse suficientemente aproximadas para su aplicación práctica. El análisis y contraste de los diferentes regímenes obtenidos a partir de diferentes fuentes de datos correspondientes a una misma zona marítima refuerza su fiabilidad.

### I.5.3. REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES. FRECUENCIAS DE PRESENTACION SECTORIALES

Los regímenes medios direccionales incluidos en este Anejo son los regímenes medios anuales de velocidad del viento estimada desde buques en ruta, correspondientes a cada una de las áreas marítimas establecidas. El cálculo de los regímenes medios direccionales se ha efectuado considerando las 16 direcciones resultantes del reparto en sectores direccionales de 22.5 °.

(69) Ver apartados 2.2.2.2. Observaciones desde Buques en Ruta y 2.1.4. Factores de Velocidad de Viento.

(70) Ver apartado 2.2.4.1. Regímenes Medios.

Para la estima de los distintos regímenes direccionales se ha utilizado toda la información procedente de observaciones desde buques en ruta disponible en el Banco de Datos Visuales del CEPYC, correspondiente a observaciones realizadas durante el periodo 1885-1985 y contenidas en las cuadrículas analizadas.

La metodología de cálculo utilizada es similar a la empleada para la definición de los regímenes medios escalares de velocidad del viento estimada desde buques en ruta, analizándose en este caso únicamente las observaciones contenidas en cada uno de los sectores direccionales considerados. La función de distribución utilizada para el ajuste y el método de estima de los parámetros de la distribución son los mismos que para el caso citado.

Se recuerda que las probabilidades que proporcionan los regímenes medios direccionales son probabilidades condicionadas a la probabilidad de presentación de la dirección analizada; por lo que para obtener la probabilidad absoluta de excedencia de un nivel de velocidad del viento cualquiera para una dirección determinada, hay que multiplicar la complementaria de la probabilidad obtenida directamente del régimen por la de presentación del sector direccional correspondiente<sup>71)</sup>.

Para el cálculo de estos regímenes no se ha efectuado ningún tipo de reparto de calmas, considerándose englobadas todas ellas en un sector adicional. De esta forma la frecuencia de presentación de cada sector direccional ha sido calculada como el cociente entre el total de observaciones contenidas en el sector y el total de observaciones más el total de calmas.

Los distintos regímenes medios direccionales se representan gráficamente en papel probabilístico Weibull biparamétrico, cuyas ordenadas se corresponden con la velocidad de viento estimada expresada en m/s y nudos, y cuyas abcisas son las probabilidades de no excedencia condicionadas. La utilización de este soporte gráfico tiene por objeto representar el régimen medio direccional mediante una recta. En dicha gráfica también se incluyen las frecuencias de presentación sectoriales correspondientes, necesarias para la obtención de las probabilidades absolutas.

Con el objeto de facilitar la utilización práctica de estos regímenes, podrá utilizarse orientativamente la equivalencia entre la velocidad del viento estimada desde buques en ruta y la velocidad media del viento a 10 metros de altura definida en la fórmula [I.5.1].

A pesar de que los datos procedentes de observaciones desde buques en ruta utilizados abarcan un periodo elevado de tiempo (*100 años*), la fiabilidad de los regímenes medios obtenidos se considera sólo aproximada puesto que la bondad de la predicción es función de la calidad estadística de los datos de partida, y ésta es intrínsecamente baja debido a las características de la propia red de toma de datos desde buques en ruta. En cualquier caso, los regímenes medios direccionales incluidos en este Anejo pueden considerarse suficientemente satisfactorios para su utilización práctica.

#### I.5.4. PERSISTENCIA ESCALAR DEL VIENTO

El análisis de persistencias del viento que se incluye en este Anejo es la persistencia escalar del viento definida en términos de probabilidad de excedencia anual de las duraciones, para excedencias (*superaciones*) y no excedencias (*no superaciones*) de una serie de valores prefijados de la velocidad del viento estimada ( $V_{v,e}$ )<sup>72)</sup>. Asimismo se incluye la duración media de la persistencia de las excedencias y de las no excedencias para cada velocidad del viento estimada.

El análisis de persistencias se ha realizado a partir de datos procedentes de observaciones desde buques en ruta, para cada una de las 10 áreas marítimas definidas en el litoral español. Se ha utilizado toda la información disponible en el Banco de Datos Visuales del CEPYC, correspondiente a observaciones realizadas durante el periodo 1885-1985 y contenidas en las cuadrículas geográficas analizadas.

Como no se dispone de datos continuos y como la posición espacial de los mismos es muy irregular, la persistencia escalar del viento ha sido estimada mediante el modelo paramétrico desarrollado por Kuwashima y Hogben (1986)<sup>72)</sup>, tomando los siguientes niveles umbral de velocidad del viento: 2.5, 5, 8, 10, 13, 15, 20 y 30 m/s.

(71) Ver apartado 2.2.4.1. Regímenes Medios.

(72) Ver apartado 2.2.5. Análisis de Persistencias.

Los resultados se representan gráficamente en papel probabilístico doble logarítmico en forma de curvas de persistencia de las superaciones y de las no superaciones de los niveles umbral de velocidad del viento fijados, cuyas ordenadas se corresponden con las probabilidades acumuladas y cuyas abscisas son las duraciones expresadas en horas. Asimismo se representa gráficamente, utilizando idéntico soporte, la duración media de las superaciones y no superaciones (*en abscisas*) para cada velocidad del viento estimada (*en ordenadas*). El papel probabilístico utilizado es el doble logarítmico en lugar del correspondiente a la función de distribución ajustada (*Weibull biparámetrica*) con el objeto de visualizar mejor los resultados.

Con el objeto de facilitar la utilización práctica del análisis de persistencias, podrá utilizarse orientativamente la equivalencia entre la velocidad del viento estimada desde buques en ruta y la velocidad media del viento a 10 m de altura definida en la fórmula [I.5.1].

El análisis de persistencias incluido en este Anejo puede considerarse como una primera aproximación cualitativa. La fiabilidad del mismo es función, no sólo de la baja calidad estadística de los datos de partida disponibles, sino también de la validez del modelo paramétrico utilizado en ausencia de datos instrumentales continuos. Los resultados obtenidos pueden considerarse únicamente como orientativos en ausencia de información mejor.

Un resultado interesante es que, para todas las áreas, parece deducirse una relación lineal doble logarítmica entre la velocidad del viento y la duración media de las superaciones de dicha velocidad.

### I.5.5. REGIMENES EXTREMALES ESCALARES

Los regímenes extremos escalares incluidos en este Anejo son los regímenes extremos de velocidad del viento.

La estima de dichos regímenes extremos se ha realizado tanto a partir de datos instrumentales para cada una de las estaciones costeras analizadas, como a partir de datos procedentes de observaciones desde buques en ruta para cada una de las áreas marítimas establecidas. Los regímenes obtenidos son los correspondientes a los parámetros velocidad del viento estimada desde buques en ruta ( $V_{v,e}$ ) y a la velocidad instantánea máxima del viento respectivamente. Dadas las características de los aparatos de medida en las estaciones costeras de la red del Instituto Nacional de Meteorología se considera como velocidad instantánea la asociada al intervalo de medición de 3 segundos ( $V_{v,3s}$ ).

Con el objeto de facilitar el contraste de resultados obtenidos a partir de las dos fuentes de información, podrá utilizarse orientativamente la siguiente relación:

$$V_{v,e} \approx V_{v,1min}(10\text{ m}) = \frac{1.31}{1.44} \cdot V_{v,3s}(10\text{ m}) = 0.91 \cdot V_{v,3s}(10\text{ m}) \quad (73) \quad [I.5.2]$$

A su vez, para el contraste de resultados éstos deberán homogeneizarse por medio de los factores de velocidad de viento (*Ver apartado 2.1.4*) con el objeto de considerar la influencia en la velocidad del viento de las características físicas del punto de medición, fundamentalmente la rugosidad superficial y la altura de la medición sobre la superficie del terreno. Este último dato para cada estación costera puede encontrarse en la tabla I.4.1.

La determinación de los regímenes extremos escalares de velocidad del viento estimada desde buques en ruta se ha realizado mediante la siguiente metodología <sup>74</sup>:

- La estima del régimen extremal ha sido realizada a partir del método de los máximos anuales.
- Las muestras analizadas corresponden a los máximos anuales observados durante el periodo 1900 a 1978 disponibles en la Base de Datos Visuales del CEPYC. Aunque se dispone de información desde el año 1885 y hasta 1985 se ha considerado que en los años correspondientes al siglo pasado existe una variación muy irregular en cuanto al número de observaciones que no hace conveniente la inclusión del valor máximo disponible en el análisis extremal. A su vez, en los datos correspondientes a la década de los 80 y a finales de los 70 se observaron sistemáticamente valores máximos anormalmente altos, quizá ocasionados por la variación de los criterios de medición, por lo que se decidió también prescindir de los mismos en el análisis extremal.

(73) Ver Apartado 2.2.2.2. Observaciones desde Buques en Ruta y Tabla 2.1.4.3.1. Factor de Ráfaga Máxima ( $F_R$ ).

(74) Ver Apartado 2.2.4.2. Regímenes Extremos.

- Con objeto de tomar en consideración el sesgo de "mal tiempo" de los datos de viento procedentes de observaciones desde buques en ruta se ha utilizado la corrección propuesta por Cardone (1969) <sup>75)</sup>, eliminando aquellos datos superiores a 100 nudos.
- La metodología de cálculo empleada ha sido la propuesta por Goda (1990). En consecuencia fueron analizadas 9 distribuciones distintas correspondientes a las familias de Gumbel, Weibull y Frechet. El ajuste de la muestra extremal a las distintas distribuciones fue efectuado por mínimos cuadrados. La distribución final de mejor ajuste ha sido seleccionada, de acuerdo con el método, atendiendo al valor del MIR <sup>76)</sup> (*coeficiente para evaluar la bondad del ajuste propuesto por Goda en 1990*), una vez eliminadas aquellas distribuciones rechazadas por los criterios del DOL <sup>77)</sup> y/o del REC <sup>78)</sup> desarrollados asimismo por Goda <sup>79)</sup>. En aquellos casos en los que todas las distribuciones resultan rechazadas por los métodos citados, la función de distribución de mejor ajuste ha sido elegida por inspección visual de todos los ajustes.

La determinación de los regímenes extremales escalares de velocidad instantánea máxima del viento ( $V_{v,3s}|_{max}$ ) a partir de datos instrumentales, para cada una de las estaciones costeras analizadas, se ha realizado asimismo mediante el método de los máximos anuales, con las siguientes particularidades:

- Las muestras analizadas corresponden a los valores máximos anuales de las velocidades instantáneas máximas del viento registrados en las estaciones costeras españolas durante el periodo 1961-1990 y disponibles en los archivos del Instituto Nacional de Meteorología. Se ha considerado la serie ininterrumpida más larga dentro de este periodo. En algunos casos se han estimado datos con el fin de operar con una longitud de serie suficientemente larga, siendo los criterios de estimación los siguientes:
    - Cuando en un año faltaban hasta 3 meses sin datos se estimaba como valor máximo anual el mayor de los restantes meses, siempre que las características climáticas de los meses sin observación permitieran suponer que el valor máximo se había producido en los meses restantes.
    - Cuando faltaba un año entero se sustituía este dato por el valor medio de la serie, siempre que no fuera posible obtener una serie ininterrumpida mayor de 10 años.
- A las series así obtenidas se les aplicó un test de homogeneidad (*test de rachas o de Thom*) con el fin de probar su carácter homogéneo y considerar la serie como muestra aleatoria. Las estaciones de Vigo (*Aeropuerto*), Melilla, San Javier, Alicante (*El Altet*), Castellón (*Almanzora*), Palma (*Aeropuerto*), Aeropuerto Reina Sofía y Lanzarote (*Aeropuerto*), no superaron el test de homogeneidad, por lo que los resultados correspondientes a dichas estaciones deben tomarse únicamente como indicativos.
- Ajuste de las muestras obtenidas a una función de distribución de Gumbel por el método de mínimos cuadrados. En general, todas las muestras presentan un buen ajuste a dicha función de distribución.

La incertidumbre asociada a cada régimen extremal estimado se cuantifica mediante el establecimiento de límites a ambos lados de la curva de ajuste asociados a un nivel de confianza del 90 %.

Los regímenes extremales obtenidos se representan gráficamente en papel probabilístico Gumbel, independientemente de cual sea la función de distribución elegida para el ajuste. Por lo tanto, cuando la función elegida no sea Gumbel la representación gráfica del régimen resultará no ser una recta. La utilización de un único papel probabilístico como soporte de representación se realiza con objeto de facilitar la comparación de regímenes. Las ordenadas se corresponden con la velocidad del viento estimada desde buques en ruta ( $V_{v,e}$ ) o con la velocidad instantánea máxima asociada a un intervalo de medición de 3 segundos ( $V_{v,3s}$ ) en función de los datos de partida, expresada en m/s y nudos. Las abscisas se corresponden tanto con la probabilidad de no excedencia como con el periodo de retorno en años. En la gráfica también se incluye el límite superior de la banda asociada a un nivel de confianza del 90 %.

La fiabilidad de cada régimen extremal obtenido será mayor o menor en función del tiempo efectivo analizado, de la calidad estadística de los datos, y en función de lo anterior de lo contrastado que esté el método de análisis extremal utilizado.

(75) Ver Apartado 2.2.2.2. Observaciones desde Buques en Ruta.

(76) Mínima relación del residuo del coeficiente de correlación.

(77) Desviación del OutLier o valor excesivamente alejado del resto de la muestra.

(78) Residuo del Coeficiente de Correlación.

(79) Para más detalles sobre el método ver bibliografía especializada (Goda, Y. y Kobunef. (1990), "Distribution Function Fiting for Storm Wave Data". 22th. International Coastal Engineering Conference).

Debido a la baja calidad estadística y a la gran variabilidad espacial y temporal que presentan las muestras analizadas procedentes de observaciones desde buques en ruta, por otro lado intrínseca a este tipo de datos, así como del tamaño de las áreas marítimas establecidas, los regímenes extremales de velocidad de viento estimada ( $V_{v,e}$ ) incluidos en este Anejo pueden considerarse únicamente como indicadores relativos del mayor grado de magnitud del viento que puede darse en cada área marítima, pero no se considerarán representativos de las características extremales del viento en cada uno de los puntos del área. En ningún caso, dada la amplitud que presentan los intervalos asociados a un nivel de confianza del 90 %, estos regímenes se considerarán representativos para periodos de retorno superiores a 200 años.

Por el contrario, los regímenes extremales instrumentales incluidos en este Anejo, cuantificando asimismo su incertidumbre por medio del establecimiento de un intervalo asociado a un 90 % de confianza, pueden considerarse en general razonablemente fiables para periodos de retorno inferiores a 20 veces el tiempo efectivo de medida considerado. Por tanto, si se acepta este criterio, en la mayor parte de los casos los regímenes extremales instrumentales obtenidos podrían considerarse fiables para periodos de retorno entre 300 y 500 años.

Con objeto de facilitar la utilización práctica de la caracterización extremal del viento en el litoral español definida en este Anejo, se han trazado a estima mapas de Velocidad Básica del viento [ $V_{v,10min}(10)$  en categoría I de rugosidad superficial]<sup>80)</sup> correspondiente a un periodo de retorno de 50 años, para cada una de las diez áreas marítimas establecidas.

Debido a las condiciones de fiabilidad asignada a los regímenes extremales disponibles, las estimas han sido realizadas fundamentalmente a partir de los resultados obtenidos de la información instrumental procedente de las estaciones costeras, extrapolada al parámetro velocidad media, a condiciones de mar abierto<sup>81)</sup> y a 10 metros de altura teniendo en cuenta las características físicas del punto de medición (*altura, rugosidad superficial y topografía local*). Estos resultados se complementan y contrastan con los procedentes de la información obtenida desde buques en ruta, valorando su fiabilidad, tomando en consideración todos los elementos bibliográficos y documentales nacionales e internacionales disponibles.

A falta de otros resultados más precisos procedentes de información local fiable, se recomienda la utilización de estos mapas para la obtención de los valores representativos de las acciones del viento<sup>82)</sup>.

A partir de estos mapas, la velocidad básica del viento asociada a un periodo de retorno diferente a 50 años podrá estimarse multiplicando el valor correspondiente a la localización geográfica del lugar considerado por el factor de conversión ( $K_T$ ) definido en la fórmula [3.2.4] (*Ver gráfica de la figura 3.2.1.4.1*). Estos factores han sido obtenidos por diversos autores analizando el valor de las relaciones entre la velocidad del viento correspondiente a un periodo de retorno dado y aquella con periodo de retorno 50 años en muchos regímenes extremales considerados fiables.

#### 1.5.6. REGIMENES EXTREMALES DIRECCIONALES

Los regímenes extremales direccionales incluidos en este Anejo son los regímenes extremales direccionales de velocidad del viento estimada desde buques en ruta, correspondientes a cada una de las 10 áreas marítimas establecidas en el litoral español. El cálculo de los regímenes extremales direccionales se ha efectuado para las 16 direcciones resultantes del reparto en sectores direccionales de 22.5°.

No ha sido posible la obtención de regímenes extremales direccionales instrumentales debido a que los datos disponibles registrados en estaciones costeras de la Red del Instituto Nacional de Meteorología, correspondientes a velocidad instantánea máxima del viento, no tienen información direccional.

Los regímenes extremales direccionales han sido calculados a partir de los máximos anuales en cada dirección, aplicando igual metodología que la definida para la obtención de los regímenes extremales escalares de velocidad del viento estimada desde buques en ruta. Las muestras analizadas corresponden a los máximos anuales observados du-

(80) Ver Apartado 2.1.3. Velocidad Básica del Viento.

(81) Categoría I de rugosidad superficial (*Ver Apartado 2.1.4. Factores de Velocidad de Viento*).

(82) Ver Apartado 3.2.1.4. Valores Representativos de la Acción del Viento.

rante el periodo 1900 a 1978 disponibles en la Base de Datos Visuales del CEPYC. Las razones para tomar únicamente los datos correspondientes a estos años del total disponible se indica en el apartado I.5.5. Regímenes Extremales Escalares. Asimismo, igual que para la obtención de los regímenes extremales escalares, con objeto de tomar en consideración el sesgo de "mal tiempo" de los datos de viento procedentes de observaciones desde buques en ruta se ha aplicado la corrección propuesta por Cardone (1969)<sup>83)</sup>, eliminando aquellos datos superiores a 100 nudos.

Con el objeto de facilitar la aplicación práctica de estos regímenes, podrán utilizarse orientativamente las equivalencias entre la velocidad del viento estimada desde buques en ruta y las velocidades media e instantánea máxima del viento definidas respectivamente en las fórmulas [I.5.1] y [I.5.2].

Los regímenes extremales direccionales obtenidos se representan gráficamente en papel probabilístico Gumbel, independientemente de cual sea la función de distribución elegida para el ajuste. La utilización de un único papel probabilístico como soporte de representación se realiza con objeto de facilitar la comparación de regímenes. Las ordenadas se corresponden con la velocidad del viento estimada desde buques en ruta ( $V_{v,e}$ ), expresada en m/s y nudos. Las abscisas se corresponden tanto con la probabilidad de no excedencia como con el periodo de retorno en años. En la gráfica también se incluye el límite superior de la banda asociada a un nivel de confianza del 90%.

Igual que para el caso de los regímenes extremales escalares de velocidad del viento estimada desde buques en ruta, y por las mismas razones, los regímenes extremales direccionales de velocidad de viento estimada ( $V_{v,e}$ ) incluidos en este Anejo pueden considerarse únicamente como indicadores relativos del grado de severidad direccional del viento en el área marítima considerada.

Debido a las condiciones de fiabilidad asignada a los regímenes extremales direccionales disponibles, y a falta de otros resultados más precisos procedentes de información local fiable, se recomienda la caracterización extremal direccional del viento en el litoral español a partir de los mapas trazados a estima de Velocidad Básica escalar del viento correspondiente a un periodo de retorno de 50 años, utilizando los coeficientes de direccionalidad  $K_\alpha$  incluidos para cada área conjuntamente con dicho mapa. En estas condiciones, la velocidad básica del viento correspondiente a la dirección  $\alpha$  asociada a un periodo de retorno  $T$  podrá obtenerse multiplicando la velocidad básica escalar correspondiente a ese periodo de retorno, obtenida por medio del mapa a estima y la fórmula [3.2.4], por el coeficiente de direccionalidad  $K_\alpha$  asociado a la dirección considerada en el área en la que se incluya la localización geográfica del lugar analizado. Es decir:

$$V_{b|T,\alpha} = V_{b|50 \text{ años}} \cdot K_T \cdot K_\alpha \quad [I.5.3]$$

El valor de los coeficientes de direccionalidad ( $K_\alpha$ ) correspondientes a cada área ha sido obtenido como valor medio de los cocientes entre el valor de la velocidad del viento asociada a cada periodo de retorno en el régimen extremal direccional de velocidad del viento estimada y el correspondiente en el régimen extremal escalar de dicha área.

Aunque el procedimiento establecido en este Anejo para asignar direccionalidad a la caracterización extremal escalar no es estrictamente ortodoxo, representa un primer intento, del lado de la seguridad, de definir regímenes extremales direccionales suficientemente fiables para su aplicación práctica a partir de la información disponible en la actualidad.

## I.6. PRESENTACION DE RESULTADOS

### I.6.1. ATLAS DE VIENTO DEL LITORAL ESPAÑOL

Las relaciones de caracterización del viento en el litoral español, obtenidas a partir del análisis estadístico de la información disponible, se presentan gráficamente con formato de Atlas de Viento.

Dicho Atlas se estructura de forma semejante al Atlas de Clima Marítimo incluido en el Anejo I de la ROM 0.3-91. Oleaje. Los resultados correspondientes a cada una de las 10 áreas marítimas en que se ha dividido el litoral español se reúnen en dos páginas, una correspondiente a la caracterización media del viento y otra a la caracterización extremal.

(83) Ver Apartado 2.2.2.2. Observaciones desde Buques en Ruta.



Cada una de estas páginas incluye la localización y características técnicas de la información analizada correspondiente a dicha área, conjuntamente con las relaciones de caracterización definidas.

La disposición de los resultados es la siguiente:

#### A. CARACTERIZACION MEDIA

- Cabecera: Características y localización de la información analizada.
- Cuadro A1: Observaciones desde Buques en Ruta: Rosa de Vientos.
- Cuadro A2: Observaciones desde Buques en Ruta: Régimen Medio Escalar.
- Cuadro A3: Observaciones desde Buques en Ruta: Regímenes Medios Direccionales. Frecuencias de Presentación Sectoriales.
- Cuadro A4: Observaciones desde Buques en Ruta: Persistencia Escalar del Viento.
- Cuadro A5: Registros en Estaciones Costeras: Regímenes Medios Escalares.

#### B. CARACTERIZACION EXTREMAL

- Cabecera: Localización y características de la información analizada.
- Cuadro B1: Observaciones desde Buques en Ruta: Regímenes Extremales Direccionales.
- Cuadro B2: Observaciones desde Buques en Ruta: Régimen Extremal Escalar.
- Cuadro B3: Registros en Estaciones Costeras: Regímenes Extremales Escalares.
- Cuadro B4: Velocidad Básica del viento,  $V_b$ , correspondiente a un periodo de retorno de 50 años, recomendada para proyecto [ $V_{v,10min}(10)$ ] (en m/s). Coeficientes de Direccionalidad [ $K_\alpha$ ].

Esta presentación tiene por objeto permitir comparar y contrastar los distintos resultados obtenidos, facilitar la utilización práctica de los mismos para la determinación de las velocidades del viento de proyecto, así como dar una visión global de las características del viento en cada una de las áreas establecidas en el litoral español a estos efectos.

El Atlas de Viento constituye la tabla I.6.1.1. de este Anejo.

#### I.6.2. LEYENDA

Las notaciones, abreviaturas y símbolos convencionales utilizados en el Atlas de Viento son los siguientes:

$V_{v,e}$ : Velocidad del Viento Estimada desde buques en ruta.

$\bar{V}_v$ : Velocidad Media del Viento.

$V_{v,3s}$ : Velocidad Instantánea Máxima del Viento o Velocidad de Ráfaga Máxima asociada a un intervalo de medición de 3s.

$V_b$ : Velocidad Básica del Viento.

$P_{SECTOR}$ : Probabilidad de presentación de un sector direccional.

T: Periodo de Retorno.

$K_\alpha$ : Coeficiente de Direccionalidad.

Las relaciones entre las diferentes unidades usadas para la velocidad del viento son las siguientes:

1 m/s = 3.6 km/h = 1.9428 nudos

1 km/h = 0.2778 m/s = 0.5396 nudos

1 nudo = 0.5147 m/s = 1.8532 km/h





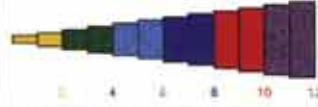
# OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

# INFORMACION ANALIZADA

# AREA - I

## A1.- ROSA DE VIENTOS

ESCALA DE VELOCIDADES ( $V_{ve}$ )  
(en Unidades Beaufort)

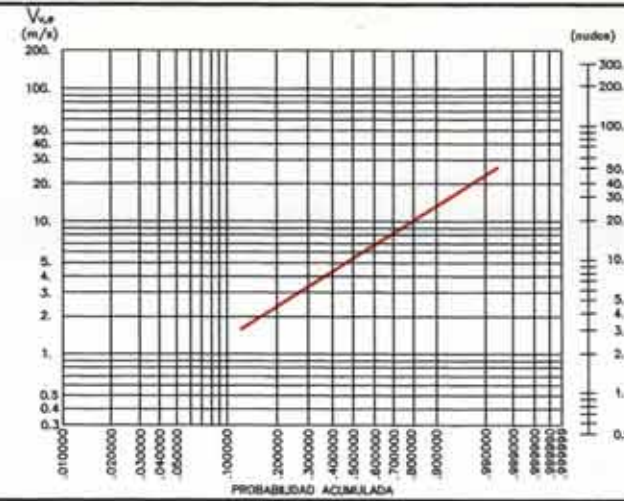


ESCALA DE FRECUENCIAS (%)  
9 mm = 5%



N° TOTAL DE OBSERVACIONES	51.865
N° TOTAL DE CALMAS	2.697
DIRECCION REINANTE	W

## A2.- REGIMEN MEDIO ESCALAR



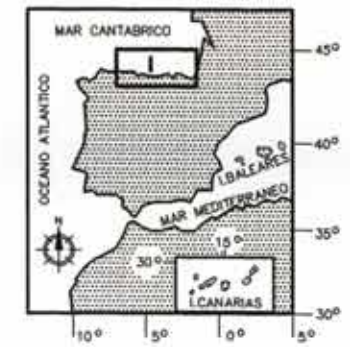
### REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. S.SEBASTIAN/Aerop.	1° - 47' W	43° - 21' N	8 m.	1969-1973
2. BILBAO/Aeropuerto	2° - 55' W	43° - 18' N	34 m.	1976-1980
3. SANTANDER/Aerop.	3° - 49' W	43° - 25' N	1 m.	1974-1978
4. GIJON	5° - 38' W	43° - 32' N	10 m.	1969-1975
5. ASTURIAS/Aeropuerto	6° - 01' W	43° - 33' N	130 m.	1969-1973

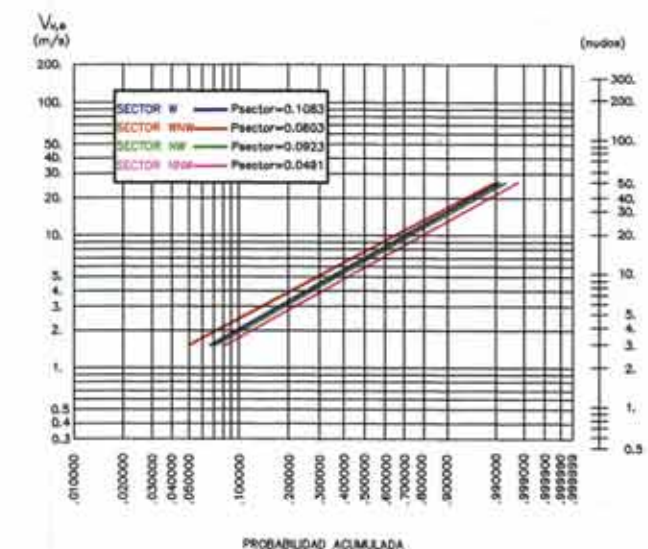
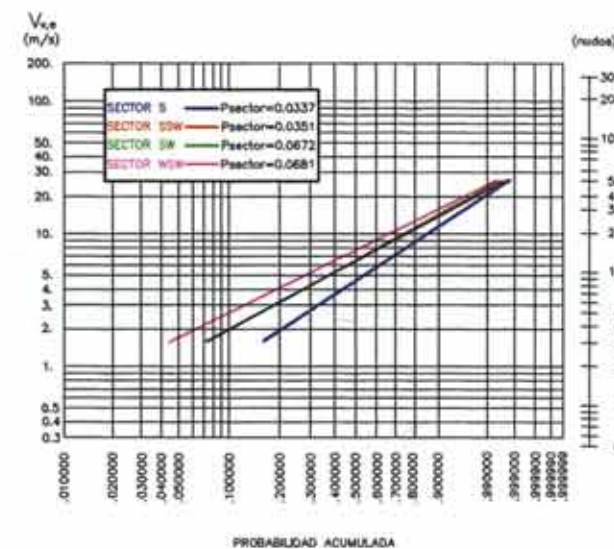
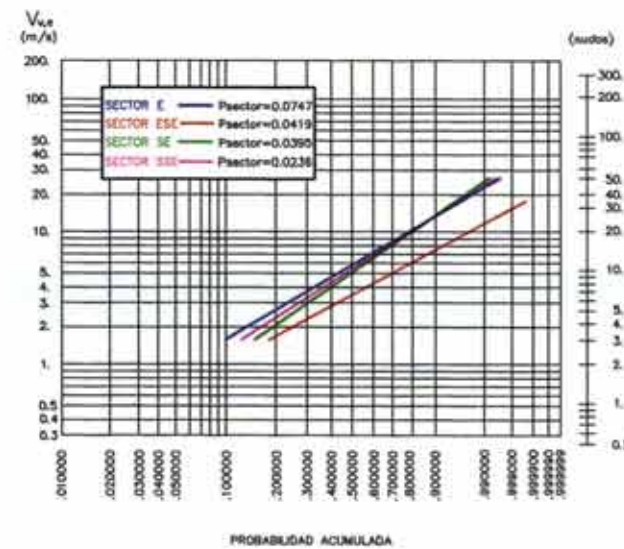
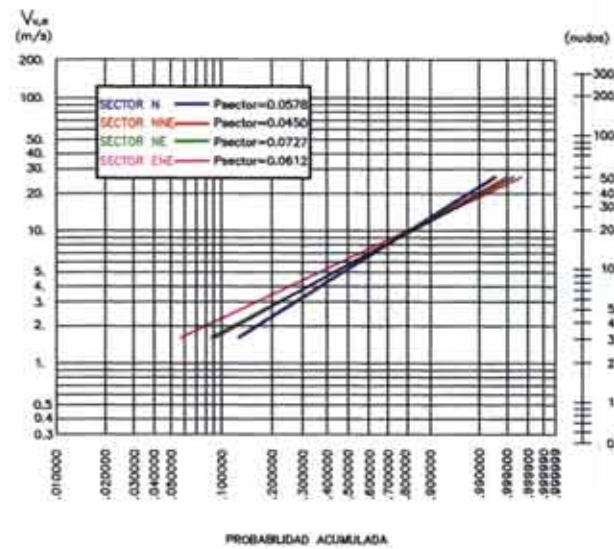
### OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
43.0° N - 45.0° N 1.5° W - 7.0° W	1885 - 1985

## CARACTERIZACION MEDIA

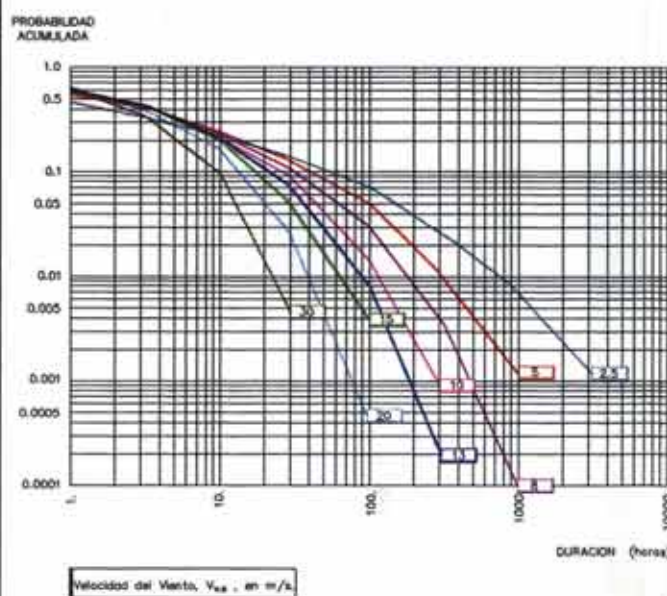


## A3.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES

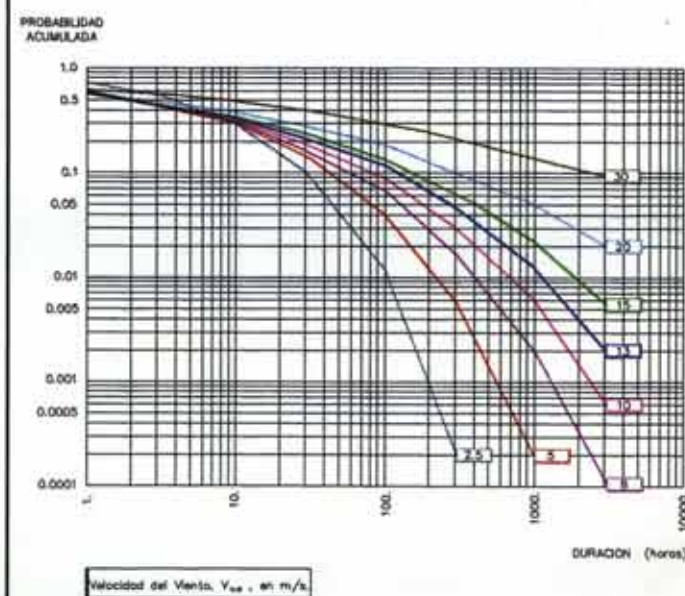


## A4.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: PERSISTENCIA ESCALAR DEL VIENTO

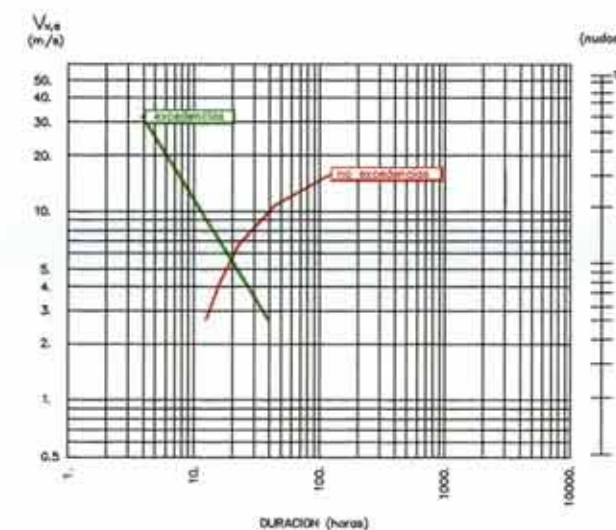
### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-EXCEDENCIAS



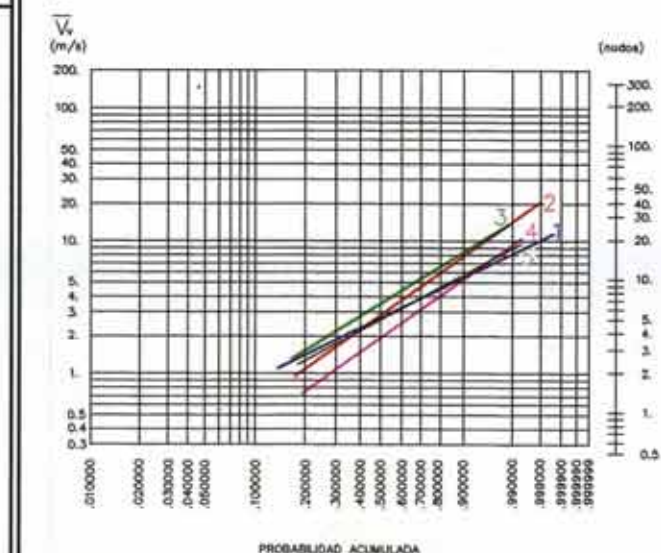
### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-NO EXCEDENCIAS



### DURACION MEDIA DE LA PERSISTENCIA



## A5.-REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES MEDIOS ESCALARES





# OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

# INFORMACION ANALIZADA

# AREA - II

## A1.- ROSA DE VIENTOS

ESCALA DE VELOCIDADES ( $V_{ce}$ )  
(en Unidades Beaufort)

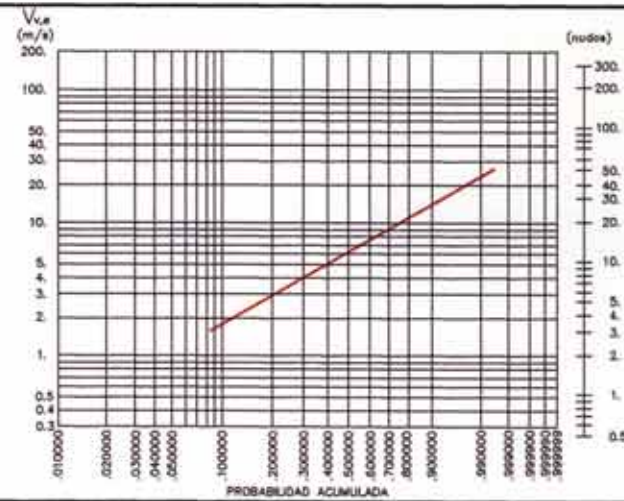


ESCALA DE FRECUENCIAS (%)  
9 mm = 5%



Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	343.975
Nº TOTAL DE CALMAS	13.923
DIRECCION REINANTE	NE

## A2.- REGIMEN MEDIO ESCALAR



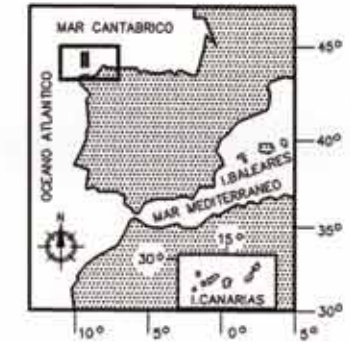
## REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. MONTEVENTOSO	8°- 15' W	43°- 29' N	240 m.	1971-1978
2. LA CORUÑA	8°- 25' W	43°- 22' N	67 m.	1969-1973

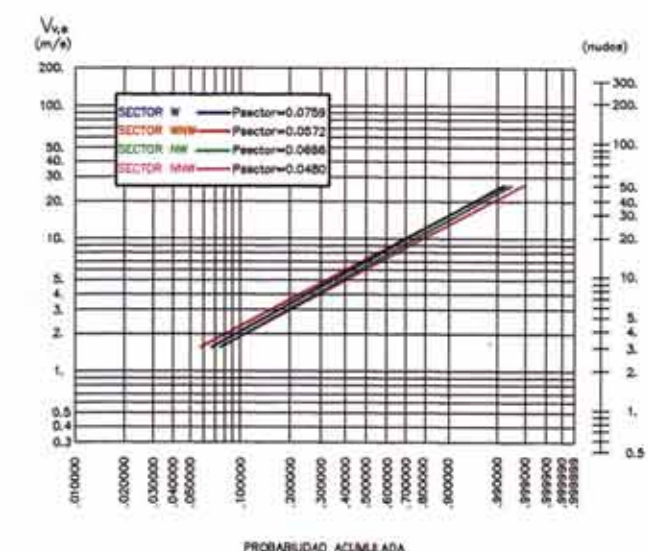
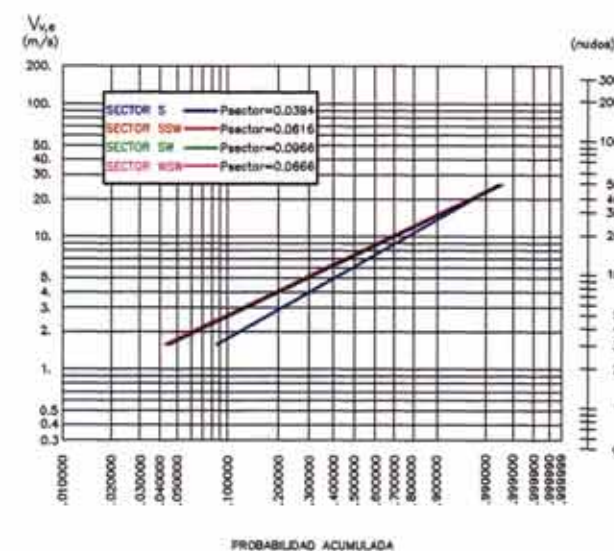
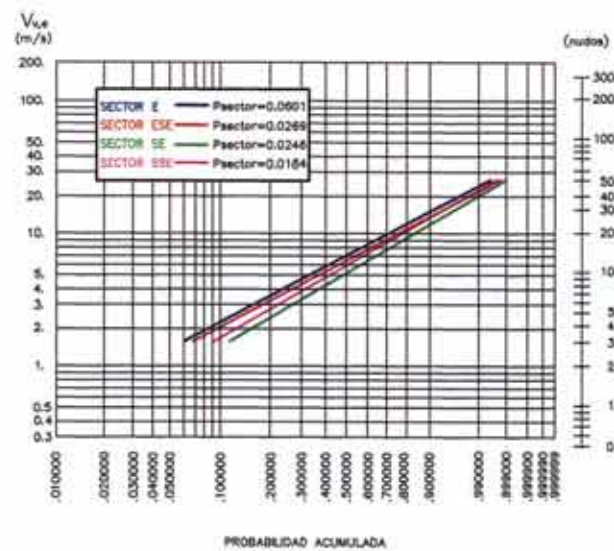
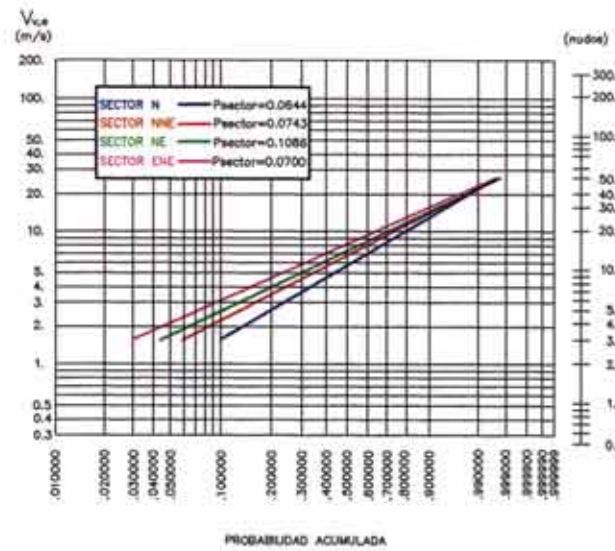
## OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
43.2° N - 45.0° N 7.0° W - 11.0° W	1885 - 1985

## CARACTERIZACION MEDIA

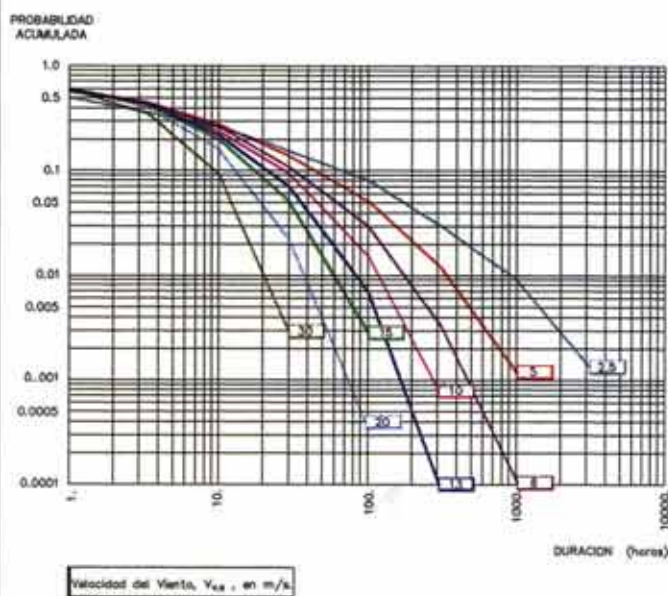


## A3.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES

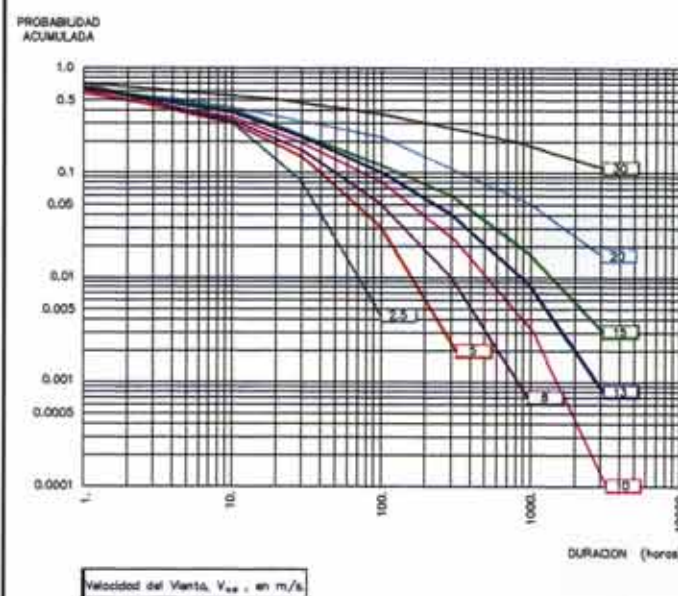


## A4.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: PERSISTENCIA ESCALAR DEL VIENTO

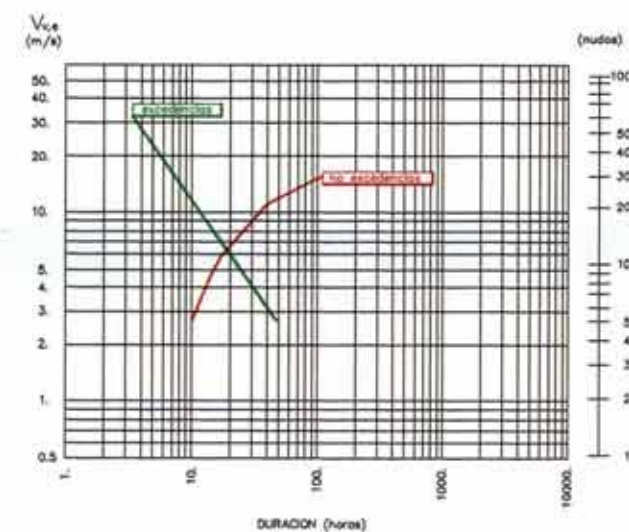
### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-EXCEDENCIAS



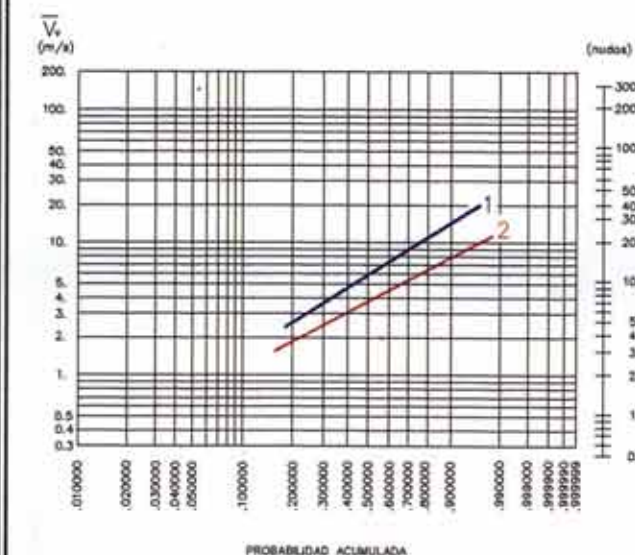
### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-NO EXCEDENCIAS



### DURACION MEDIA DE LA PERSISTENCIA



## A5.-REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES MEDIOS ESCALARES





# OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

## A1.- ROSA DE VIENTOS

ESCALA DE VELOCIDADES ( $V_{w,e}$ )  
(en Unidades Beaufort)

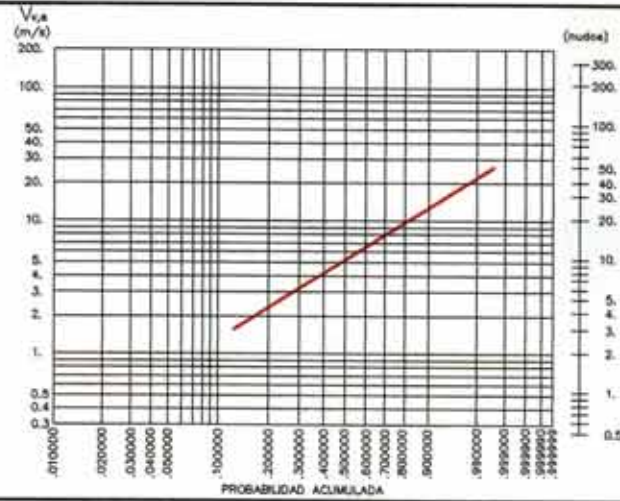


ESCALA DE FRECUENCIAS (%)  
9 mm = 5%



Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	224.406
Nº TOTAL DE CALMAS	12.923
DIRECCION REINANTE	N.

## A2.- REGIMEN MEDIO ESCALAR



# INFORMACION ANALIZADA

## REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

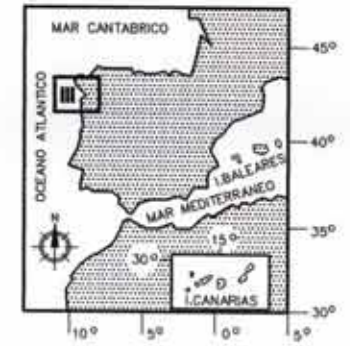
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. VIGO/Aeropuerto	8° - 38'W	42° - 13'N	256 m.	1971-1980

## OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

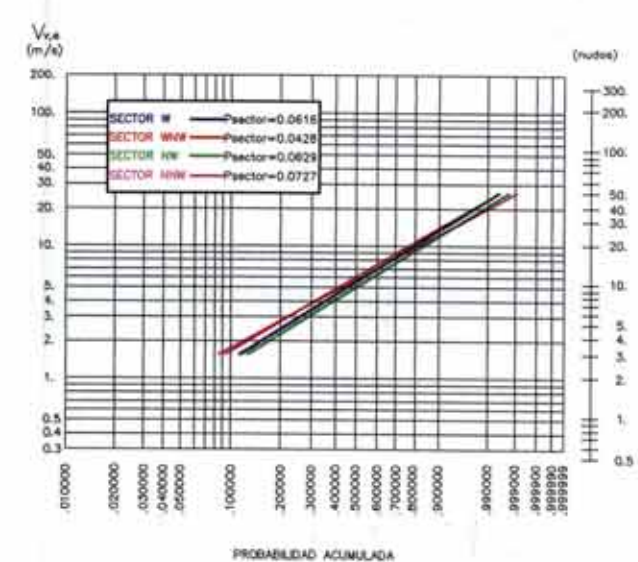
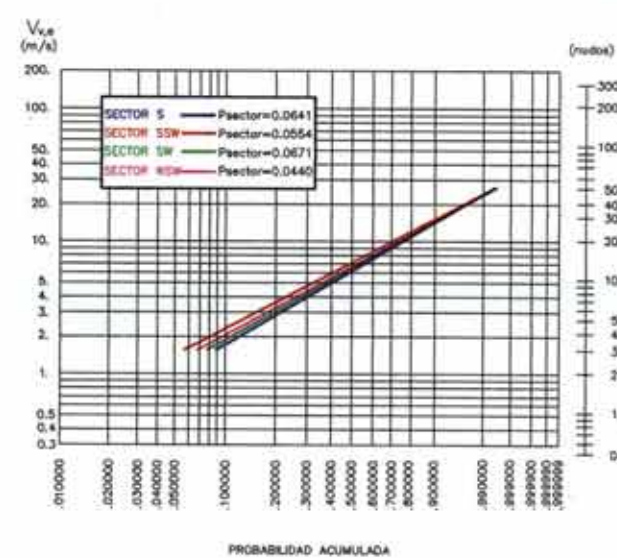
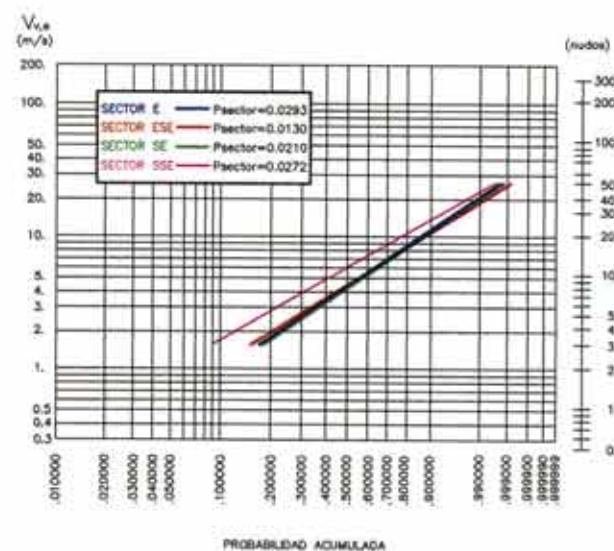
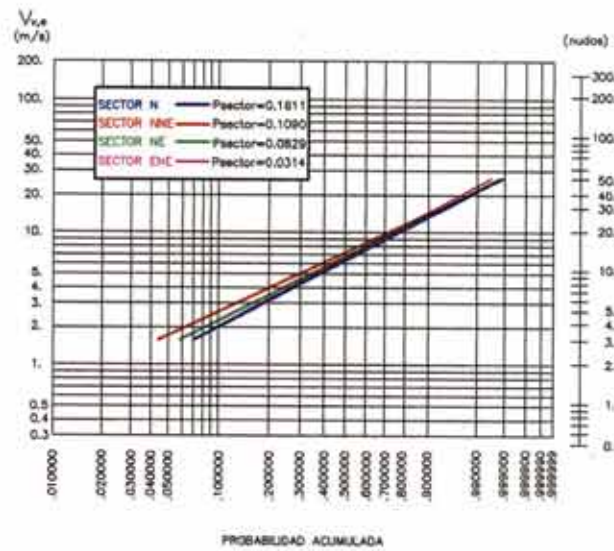
CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
41.5°N - 43.2°N 8.0°W - 11.0°W	1885 - 1985

# AREA - III

## CARACTERIZACION MEDIA

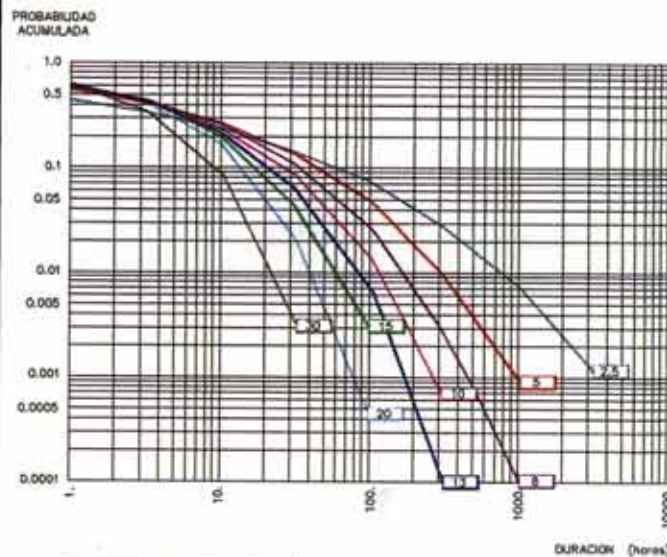


## A3.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES



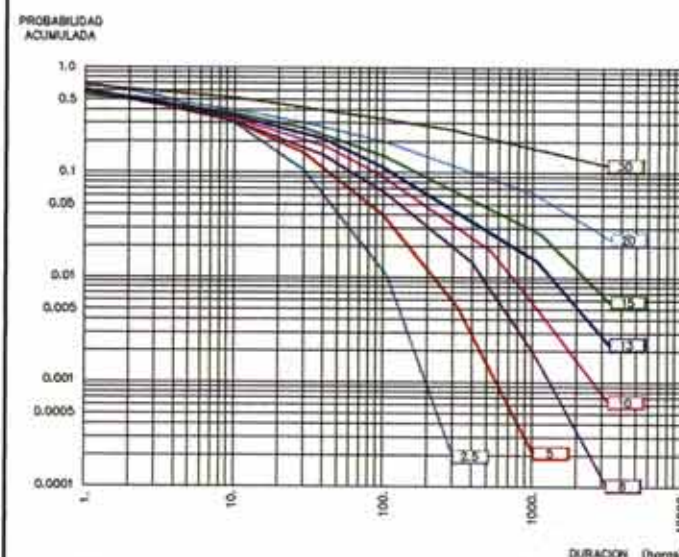
## A4.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: PERSISTENCIA ESCALAR DEL VIENTO

### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-EXCEDENCIAS



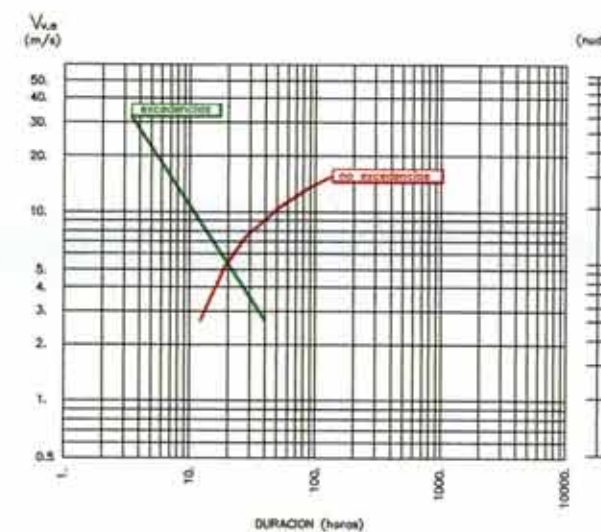
Velocidad del Viento,  $V_{w,e}$  en m/s

### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-NO EXCEDENCIAS

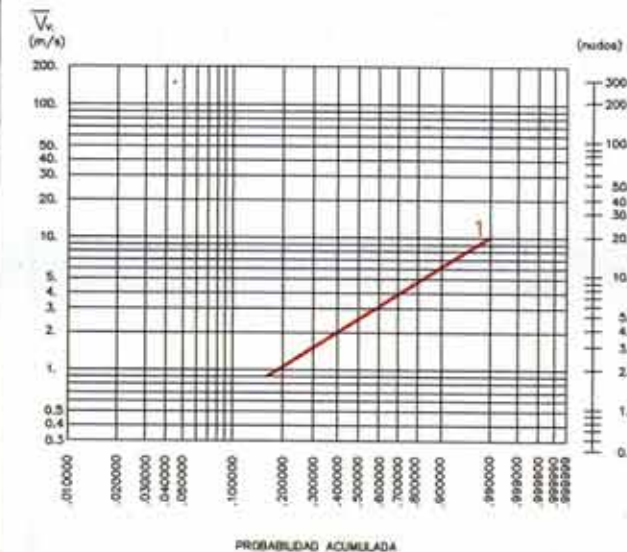


Velocidad del Viento,  $V_{w,e}$  en m/s

### DURACION MEDIA DE LA PERSISTENCIA



## A5.-REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES MEDIOS ESCALARES





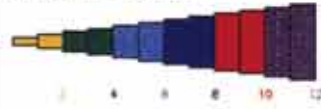
# OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

# INFORMACION ANALIZADA

# AREA - IV

## A1.- ROSA DE VIENTOS

ESCALA DE VELOCIDADES ( $V_{ref}$ )  
(en Unidades Beaufort)

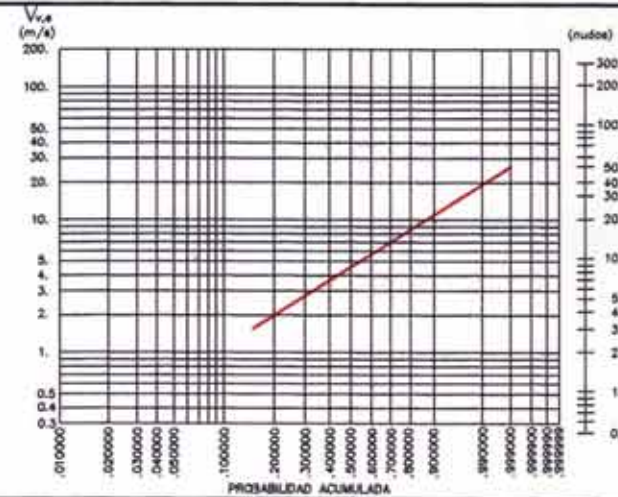


ESCALA DE FRECUENCIAS (%)  
9 mm = 5%



N° TOTAL DE OBSERVACIONES	284.568
N° TOTAL DE CALMAS	20.189
DIRECCION REINANTE	NW

## A2.- REGIMEN MEDIO ESCALAR



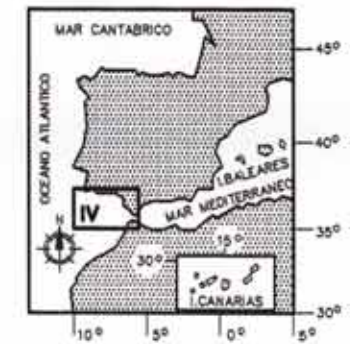
### REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. HUELVA	6° - 57' W	37° - 16' N	26 m.	1975-1979
2. SEVILLA/S.Pablo	5° - 53' W	37° - 25' N	20 m.	1961-1970
3. TARIFA	5° - 36' W	36° - 00' N	37 m.	1974-1978

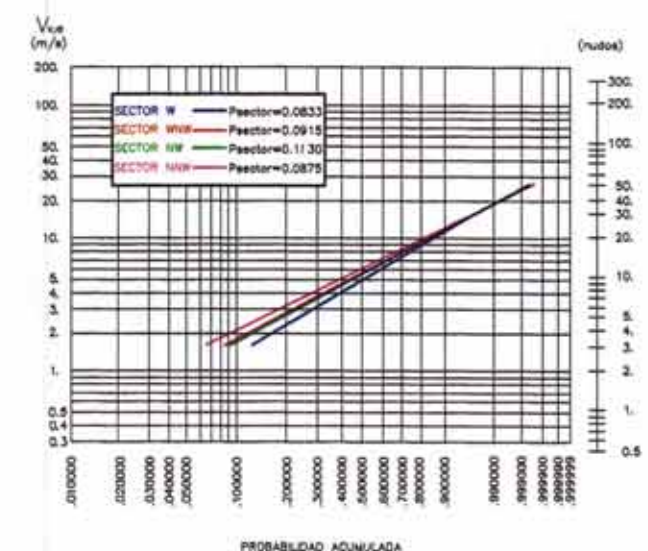
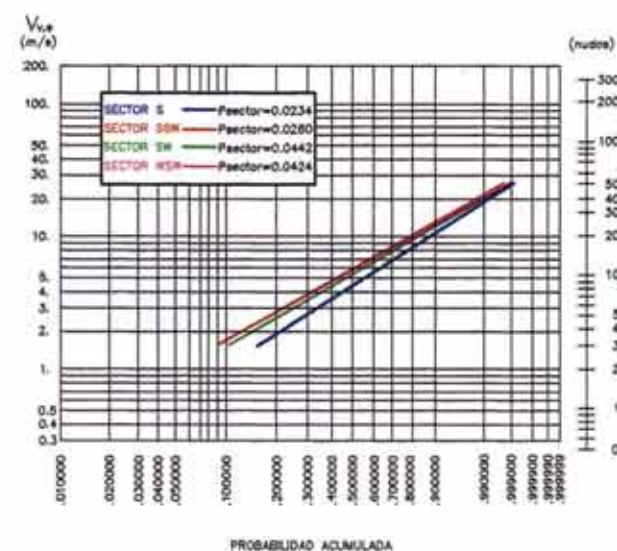
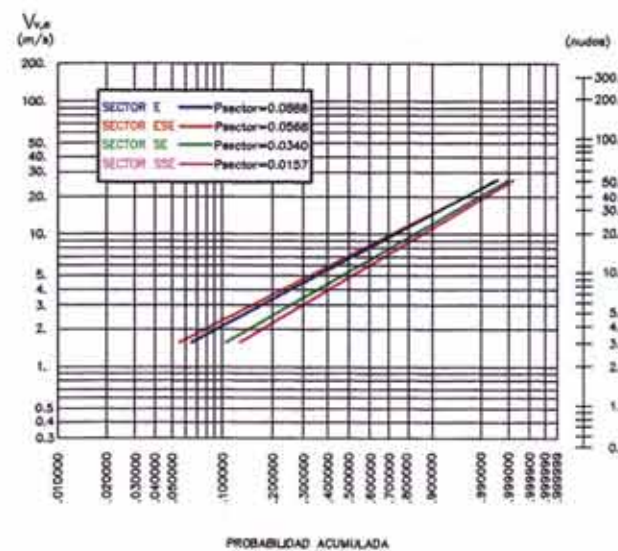
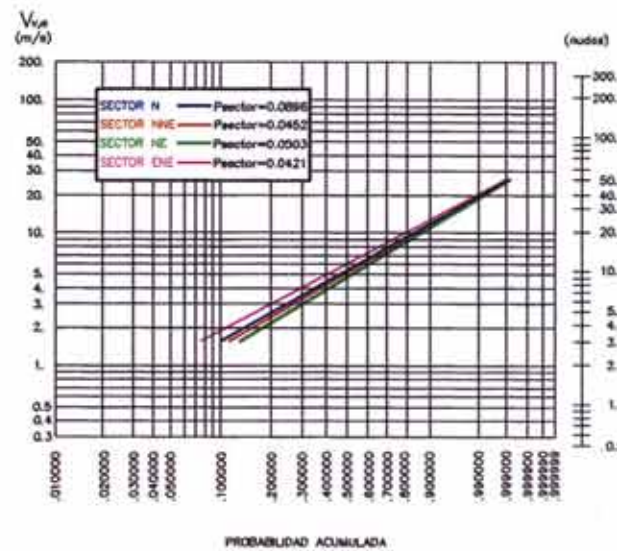
### OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
35.0° N - 37.1° N 5.6° W - 10.0° W	1885 - 1985

## CARACTERIZACION MEDIA

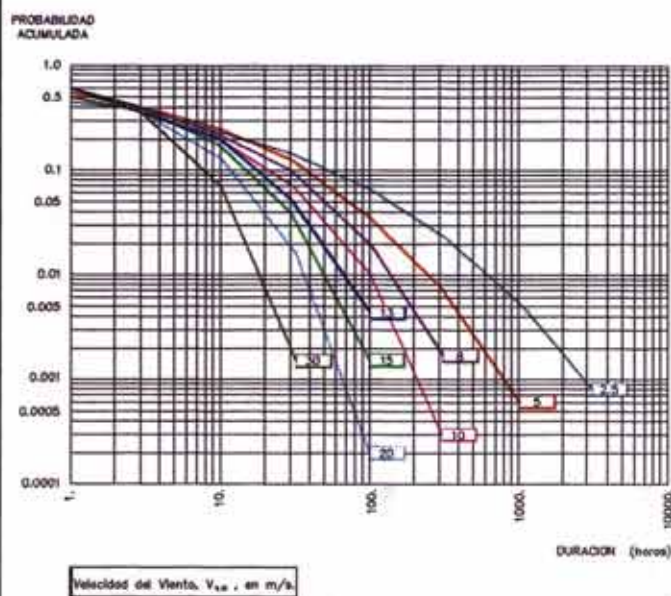


## A3.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES

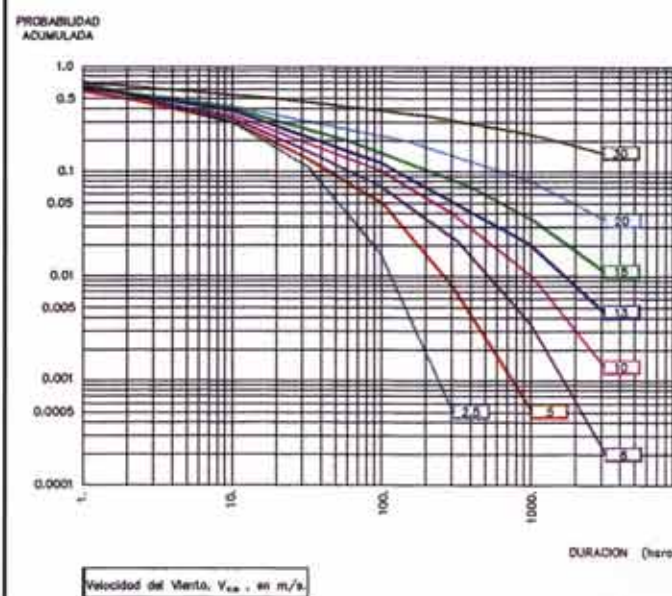


## A4.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: PERSISTENCIA ESCALAR DEL VIENTO

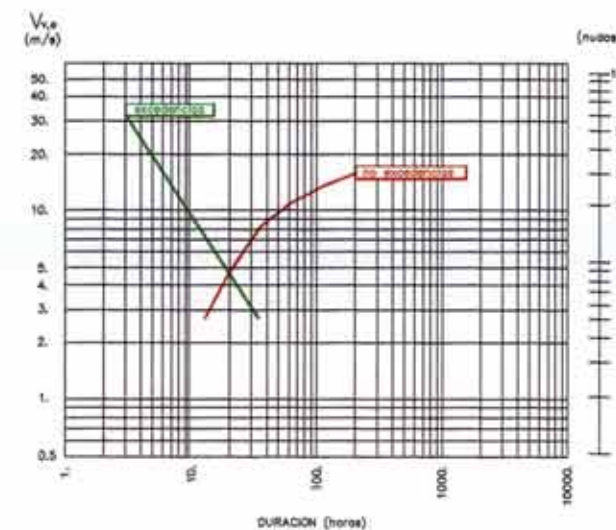
### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-EXCEDENCIAS



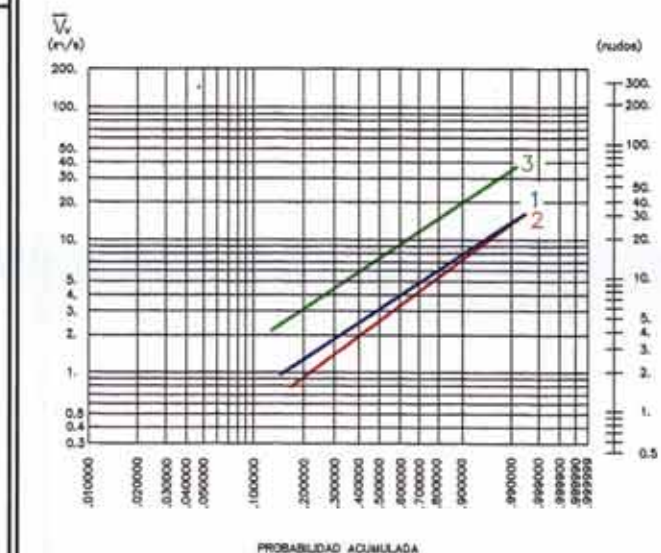
### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-NO EXCEDENCIAS



### DURACION MEDIA DE LA PERSISTENCIA



## A5.-REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES MEDIOS ESCALARES





# OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

## A1.- ROSA DE VIENTOS

ESCALA DE VELOCIDADES ( $V_{ve}$ )  
(en Unidades Beaufort)

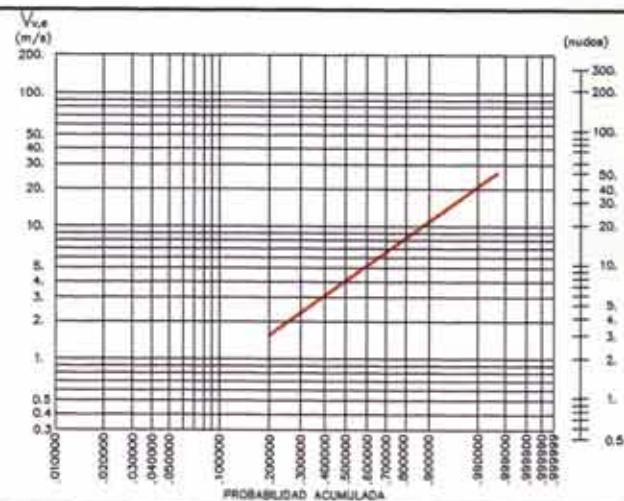


ESCALA DE FRECUENCIAS (%)  
9 mm = 5%



Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	238.218
Nº TOTAL DE CALMAS	30.957
DIRECCION REINANTE	W

## A2.- REGIMEN MEDIO ESCALAR



# INFORMACION ANALIZADA

## REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. CEUTA	5° - 18' W	35° - 55' N	200 m.	1972-1976
2. MALAGA/Aeropuerto	4° - 29' W	36° - 40' N	10 m.	1963-1972
3. ALMERIA/Aeropuerto	2° - 22' W	36° - 51' N	21 m.	1969-1973
4. MELILLA/Aeropuerto	2° - 57' W	35° - 17' N	55 m.	1974-1978

## OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

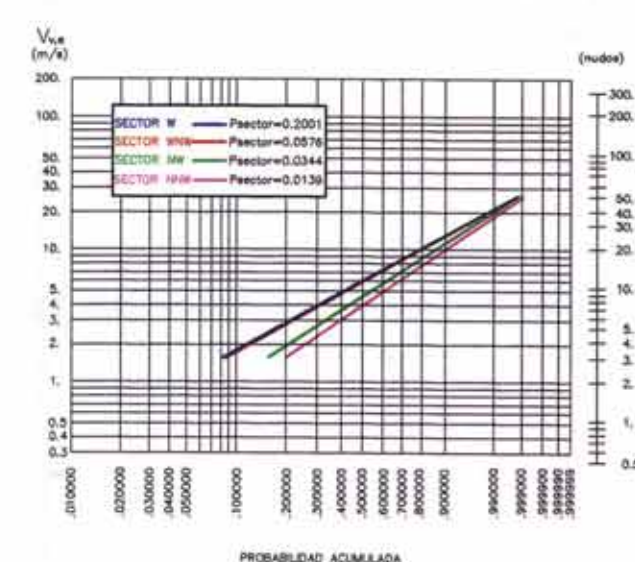
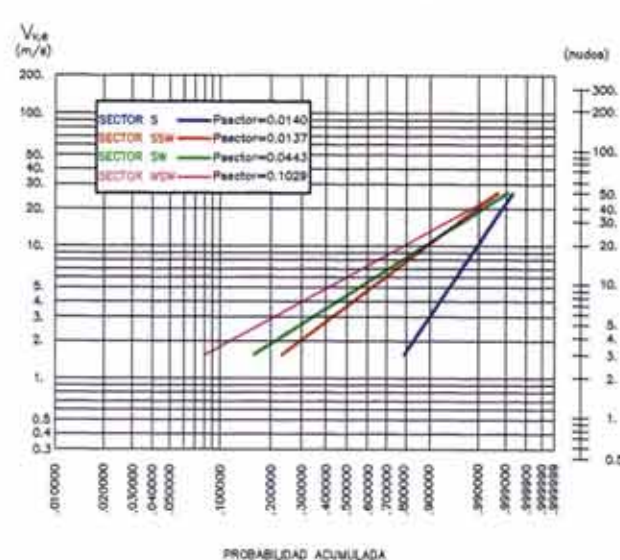
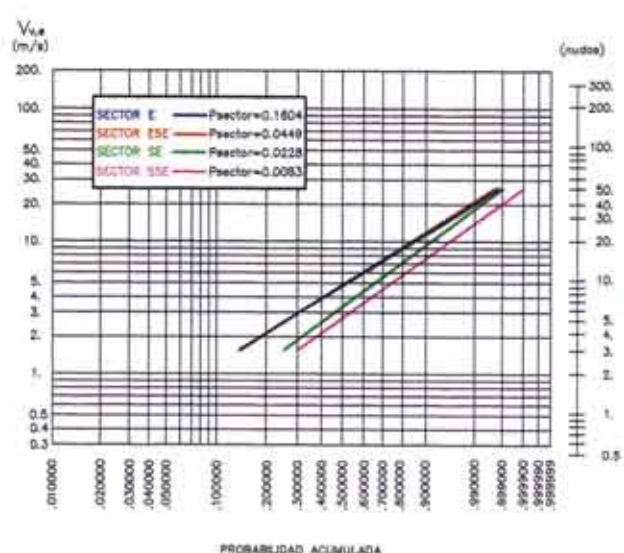
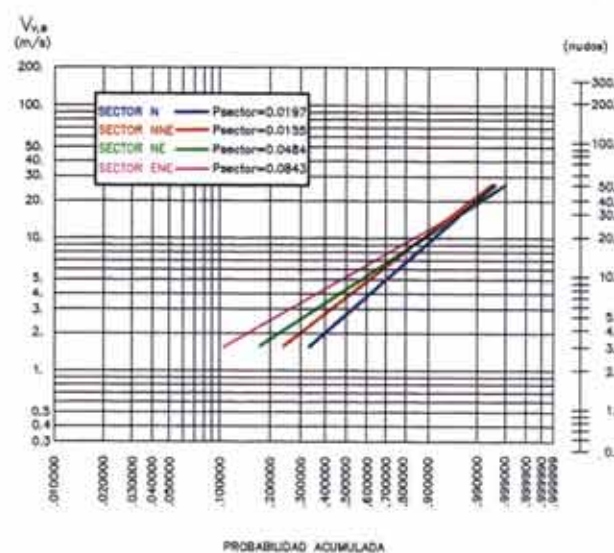
CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
35.0°N - 37.0°N 2.0°W - 5.6°W	1885 - 1985

# AREA - V

## CARACTERIZACION MEDIA

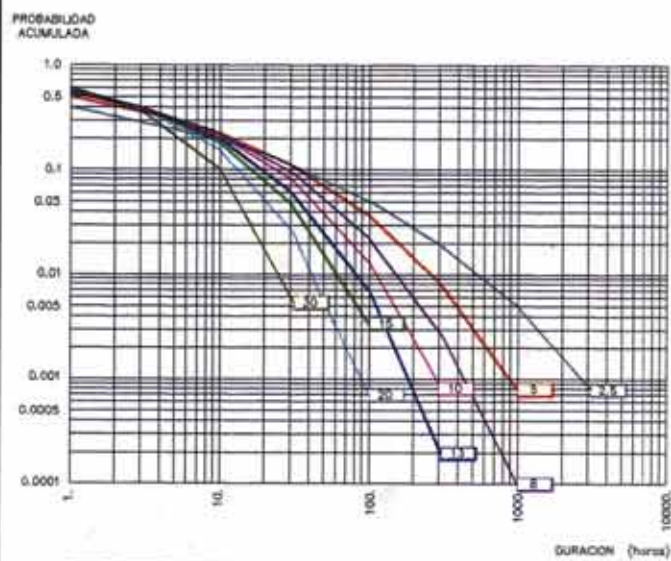


## A3.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES

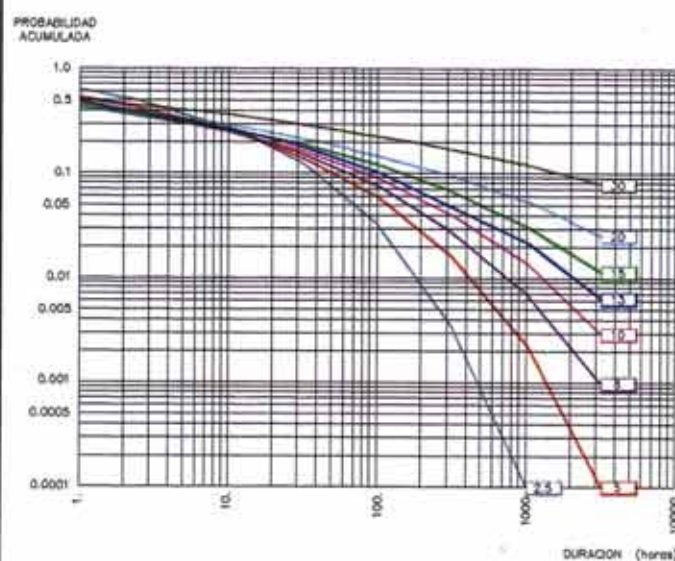


## A4.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: PERSISTENCIA ESCALAR DEL VIENTO

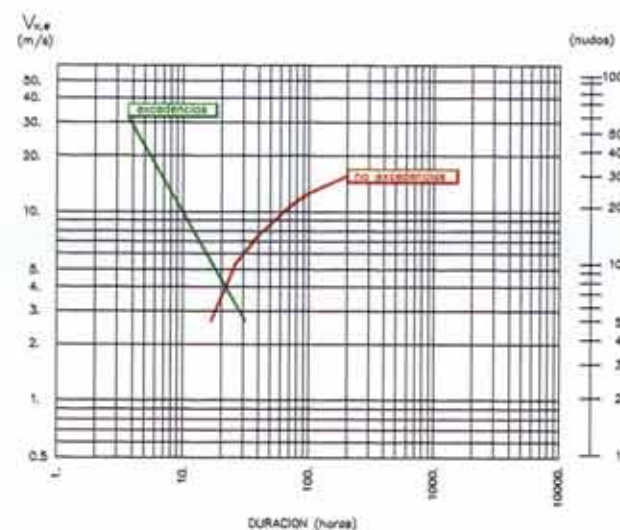
### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-EXCEDENCIAS



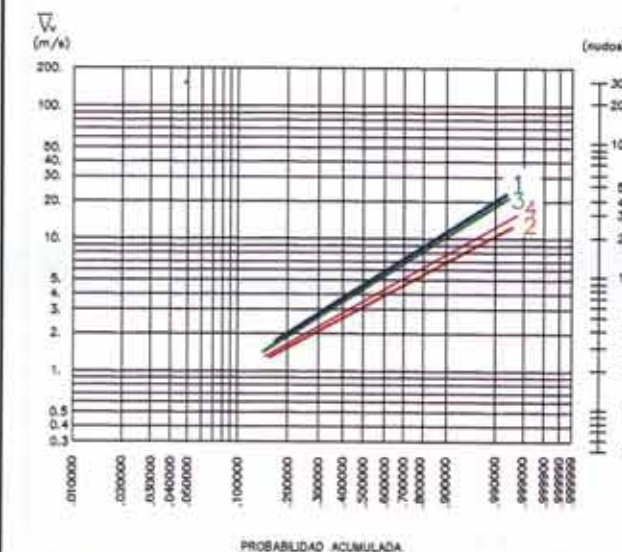
### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-NO EXCEDENCIAS



### DURACION MEDIA DE LA PERSISTENCIA



## A5.-REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES MEDIOS ESCALARES





# OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

# INFORMACION ANALIZADA

# AREA - VI

## A1.- ROSA DE VIENTOS

ESCALA DE VELOCIDADES ( $V_{ce}$ )  
(en Unidades Beaufort)

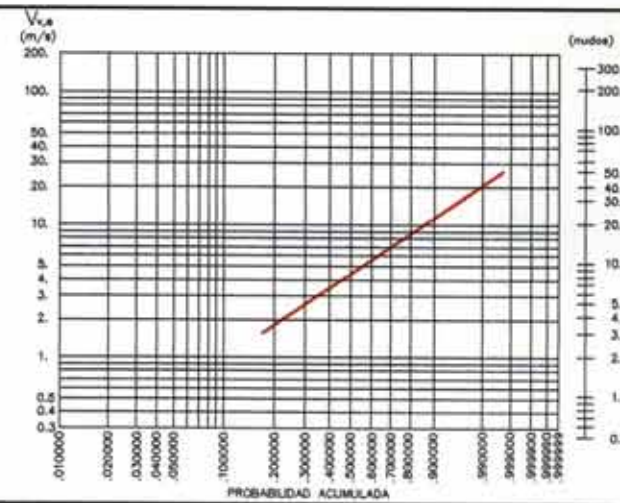


ESCALA DE FRECUENCIAS (%)  
9 mm = 5%



Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	258.233
Nº TOTAL DE CALMAS	23.410
DIRECCION REINANTE	ENE

## A2.- REGIMEN MEDIO ESCALAR



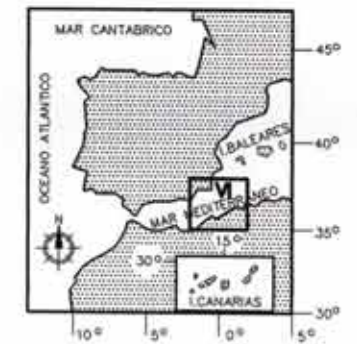
## REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. SAN JAMER/C.H.S.	0° - 50' W	37° - 48' N	1 m.	1960-1969

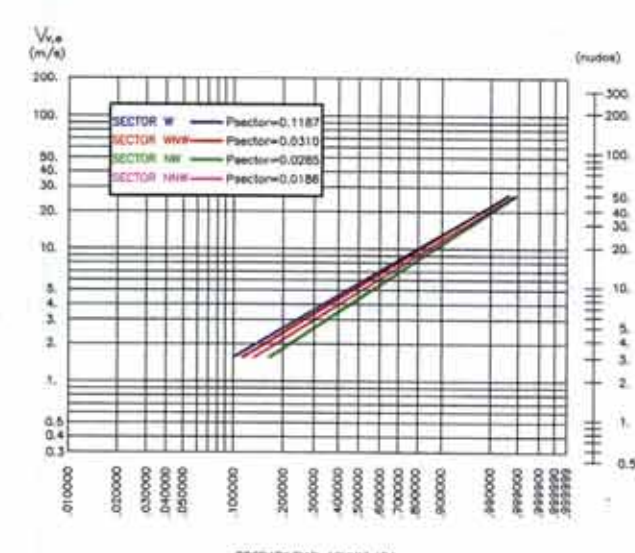
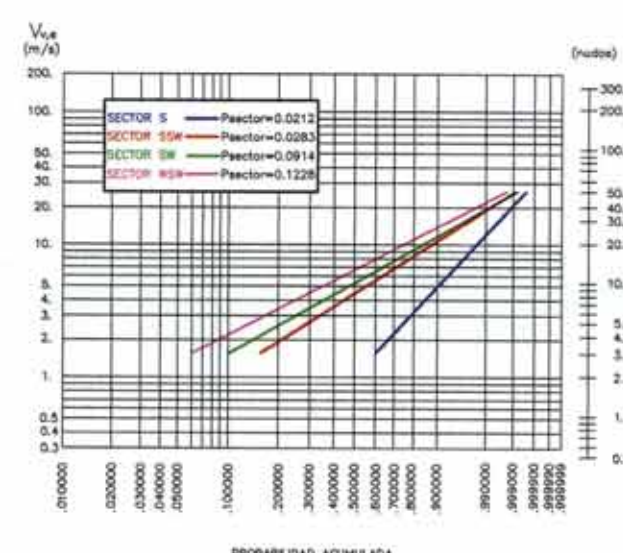
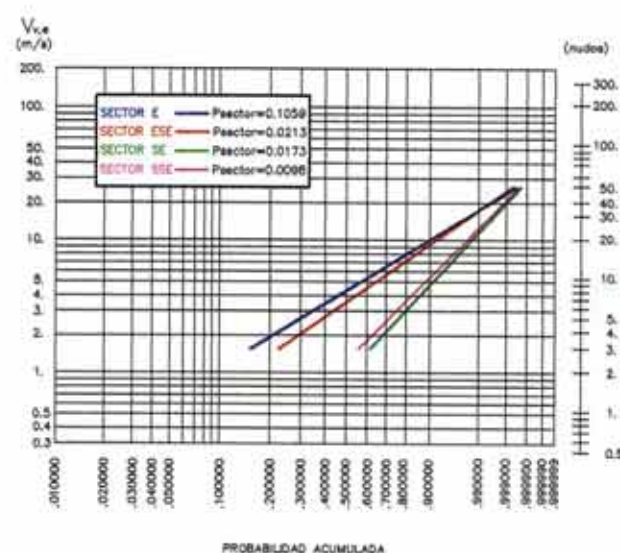
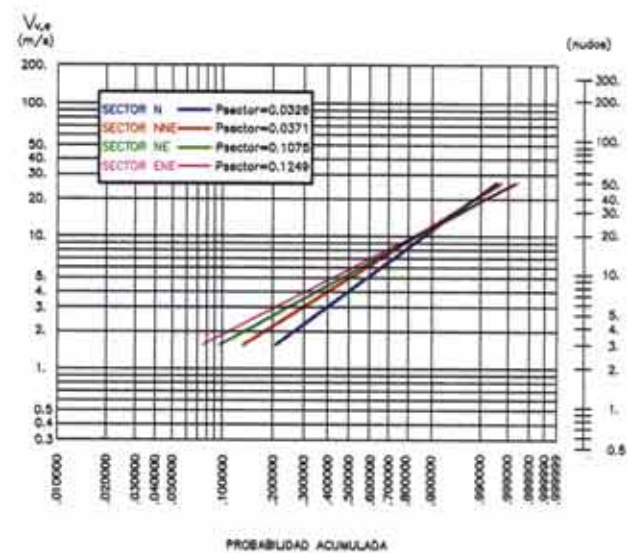
## OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
35.0° N - 38.0° N 2.0° W - 2.0° E	1885 - 1985

## CARACTERIZACION MEDIA

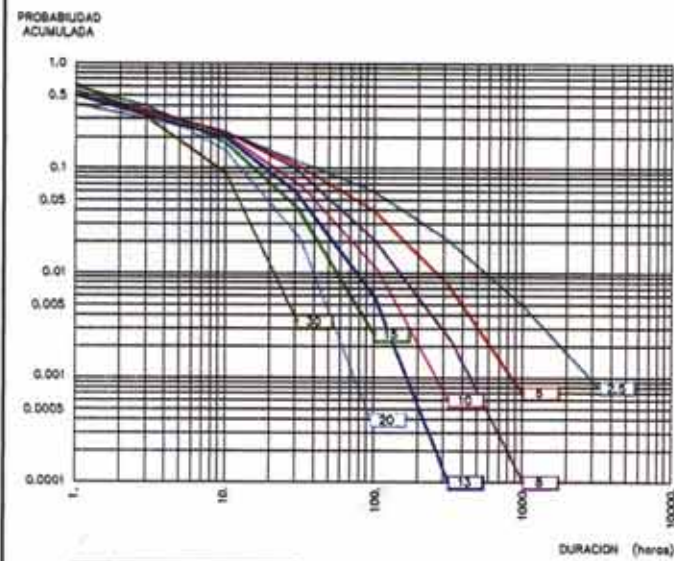


## A3.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES



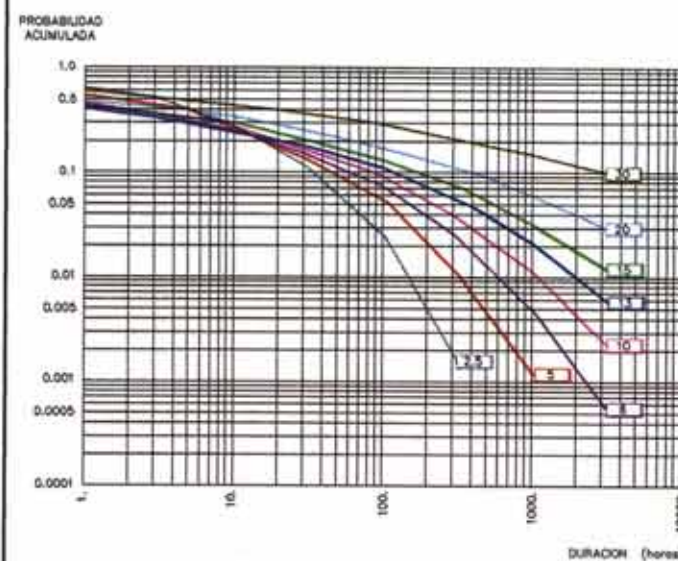
## A4.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: PERSISTENCIA ESCALAR DEL VIENTO

### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-EXCEDENCIAS



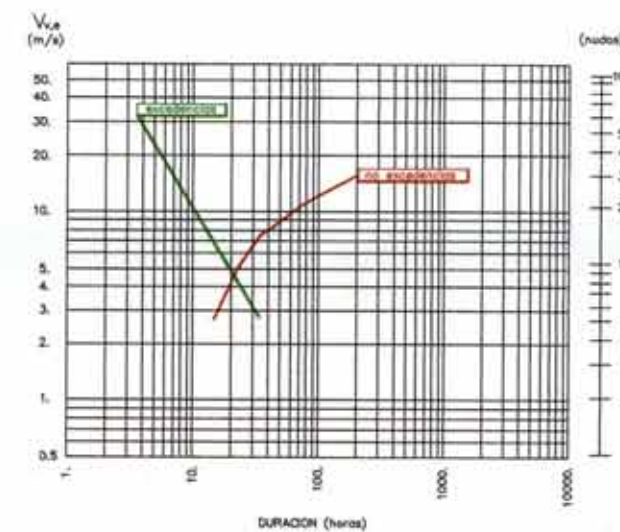
Velocidad del Viento,  $V_{ce}$ , en m/s.

### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-NO EXCEDENCIAS

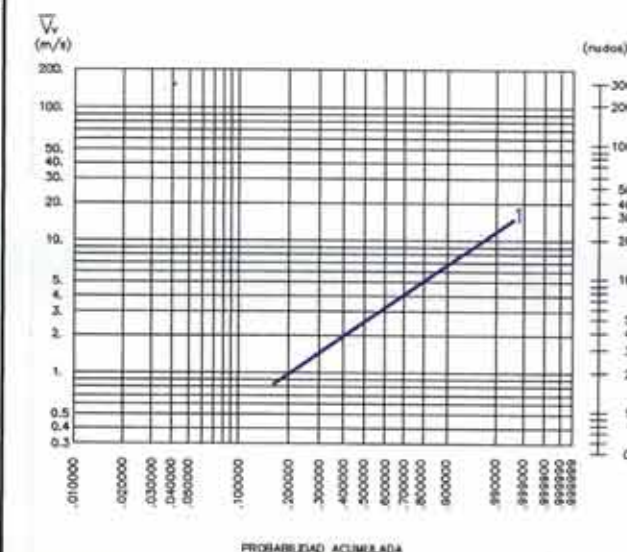


Velocidad del Viento,  $V_{ce}$ , en m/s.

### DURACION MEDIA DE LA PERSISTENCIA



## A5.-REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES MEDIOS ESCALARES





# OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

## A1.- ROSA DE VIENTOS

ESCALA DE VELOCIDADES ( $V_{ce}$ )  
(en Unidades Beaufort)

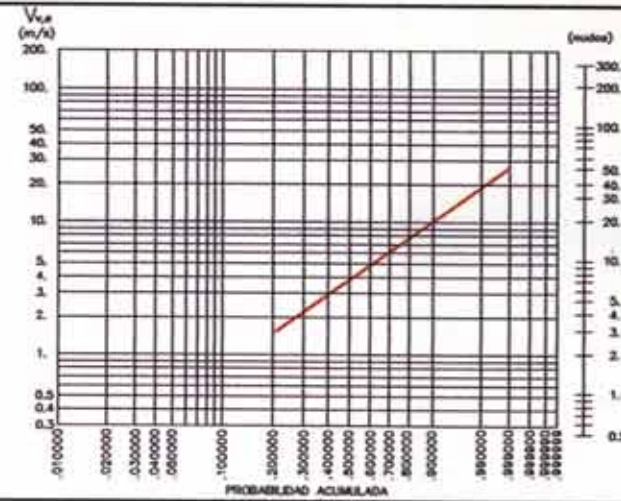


ESCALA DE FRECUENCIAS (%)  
9 mm = 5%



N° TOTAL DE OBSERVACIONES	72.663
N° TOTAL DE CALMAS	6.980
DIRECCION REINANTE	SW

## A2.- REGIMEN MEDIO ESCALAR



# INFORMACION ANALIZADA

## REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

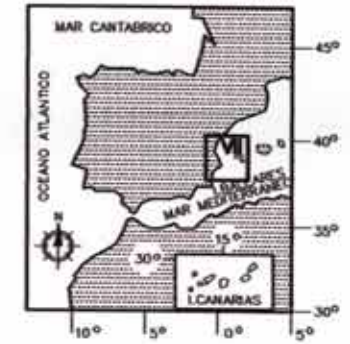
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. ALICANTE/El Altet	0°- 33' W	38°- 17' N	31 m.	1970-1979
2. VALENCIA/Monises	0°- 28' W	39°- 29' N	62 m.	1970-1979

## OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

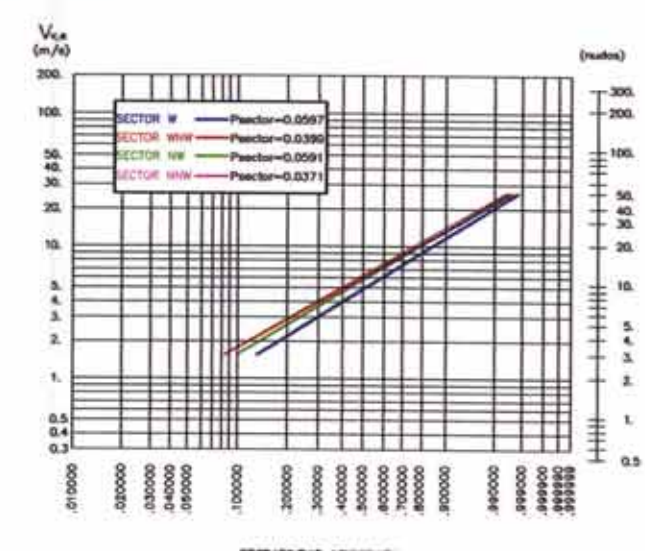
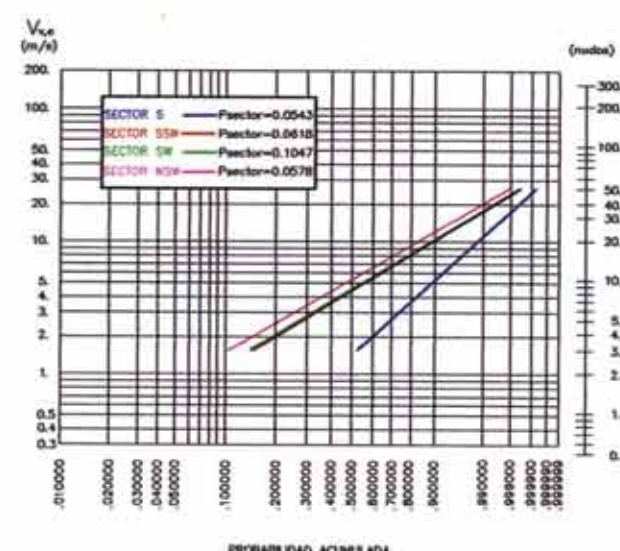
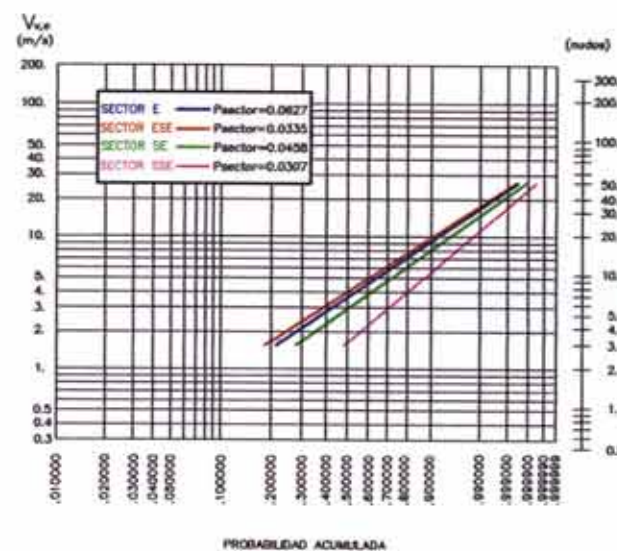
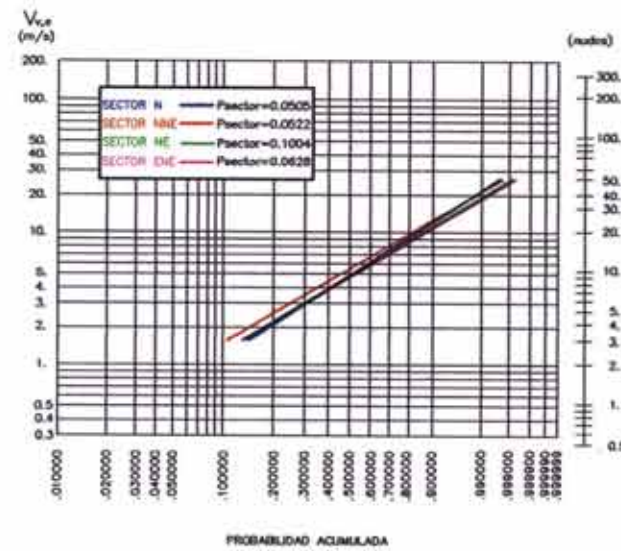
CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
37.8°N - 40.5°N 1.0° W - 2.0° E	1885 - 1985

# AREA - VII

## CARACTERIZACION MEDIA

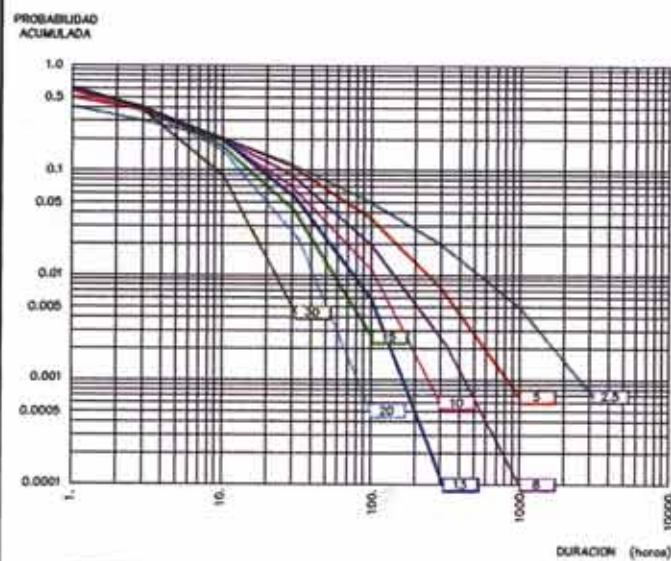


## A3.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES



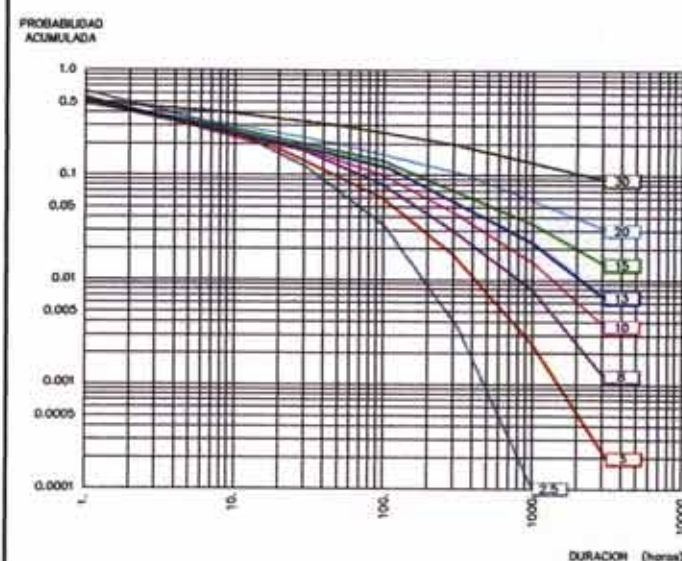
## A4.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: PERSISTENCIA ESCALAR DEL VIENTO

### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-EXCEDENCIAS



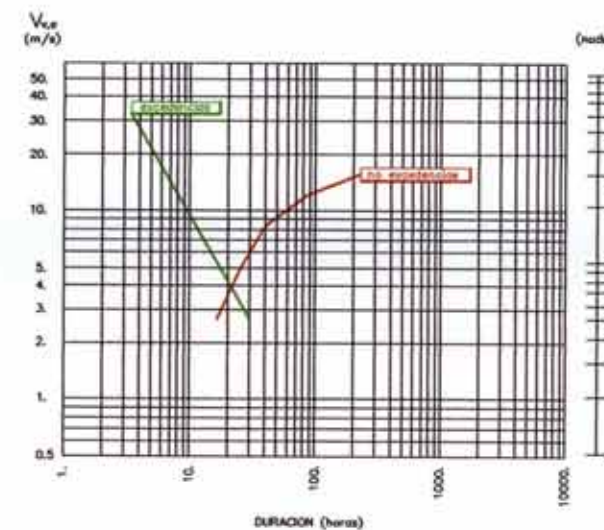
Velocidad del Viento,  $V_{ce}$ , en m/s.

### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-NO EXCEDENCIAS

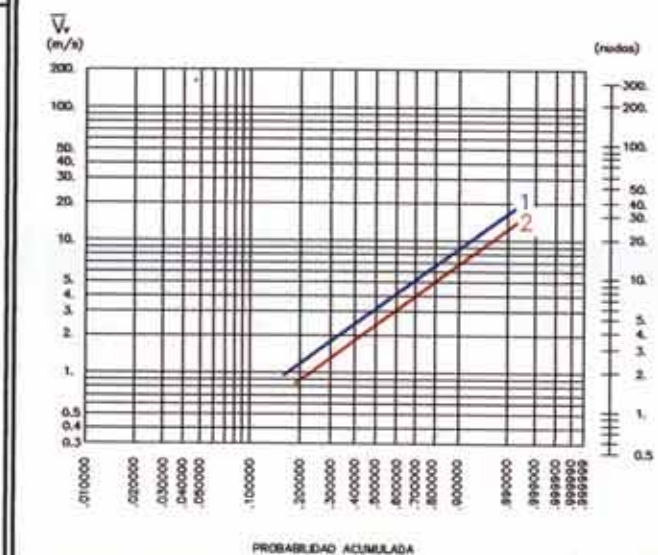


Velocidad del Viento,  $V_{ce}$ , en m/s.

### DURACION MEDIA DE LA PERSISTENCIA



## A5.-REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES MEDIOS ESCALARES





## OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

### A1.- ROSA DE VIENTOS

ESCALA DE VELOCIDADES ( $V_{ve}$ )  
(en Unidades Beaufort)

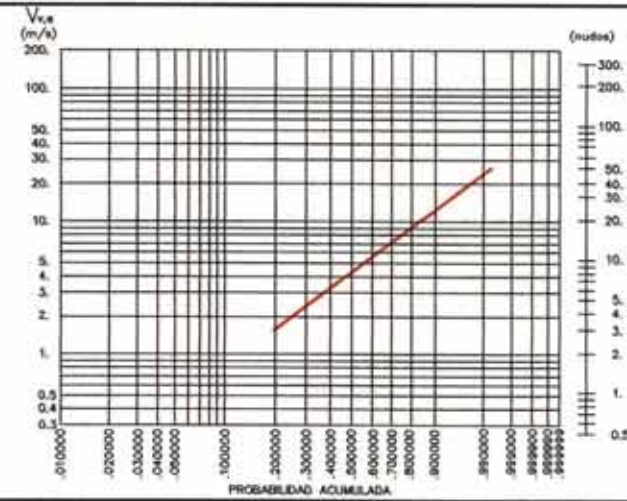


ESCALA DE FRECUENCIAS (%)  
9 mm = 5%



Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	83.003
Nº TOTAL DE CALMAS	7.768
DIRECCION REINANTE	NW

### A2.- REGIMEN MEDIO ESCALAR



## INFORMACION ANALIZADA

### REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. TORTOSA	0° - 30' E	40° - 29' N	50 m.	1971-1976
2. BARCELONA/Aerop.	2° - 05' E	41° - 18' N	6 m.	1960-1969

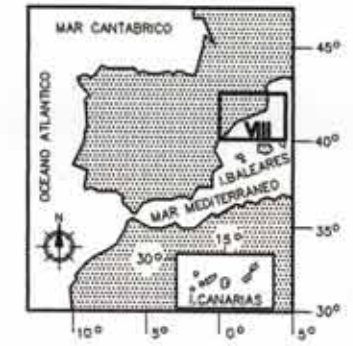
### OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

#### CUADRICULA                      PERIODO DE MEDIDA

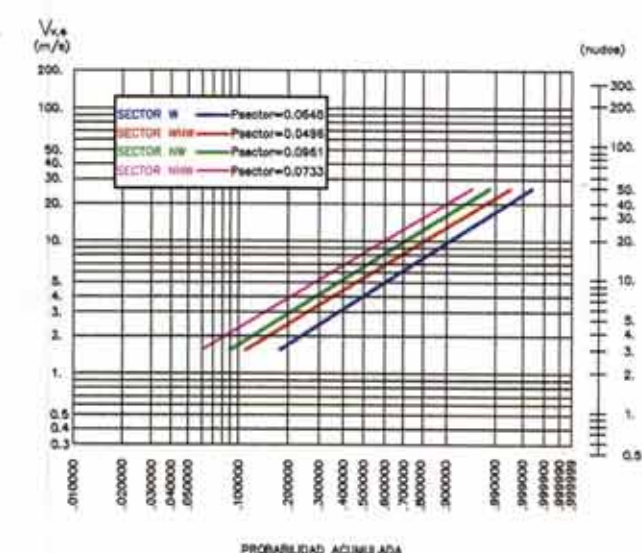
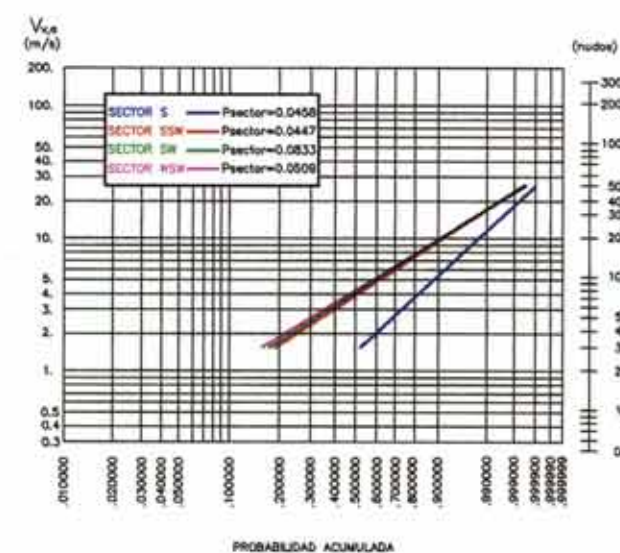
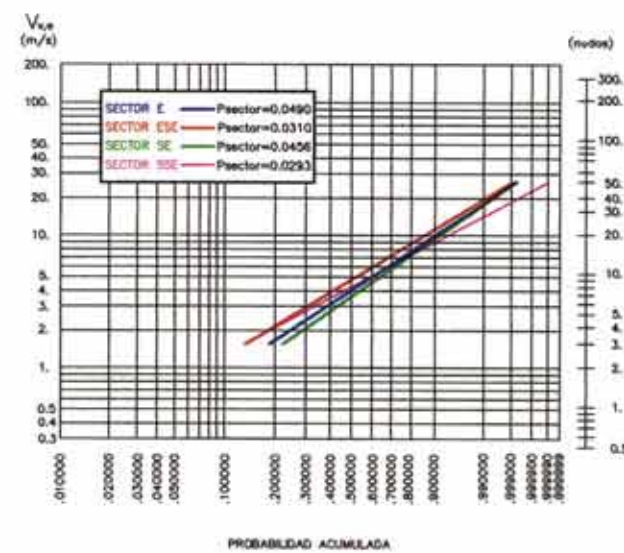
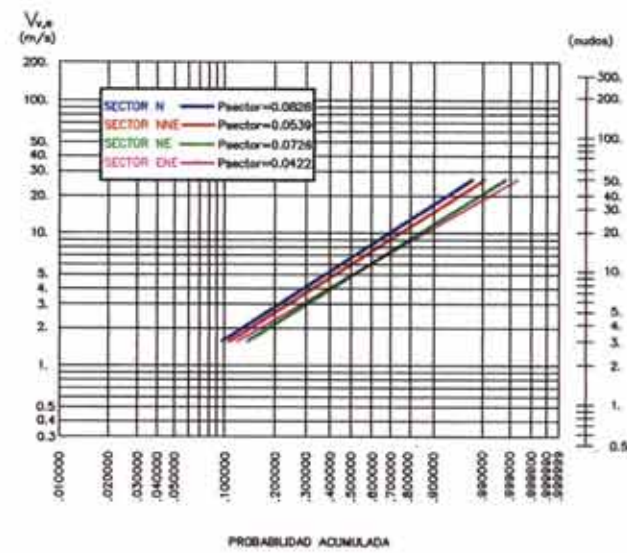
40.5° N - 42.5° N	1885 - 1985
0.0° - 4.5° E	

## AREA - VIII

### CARACTERIZACION MEDIA

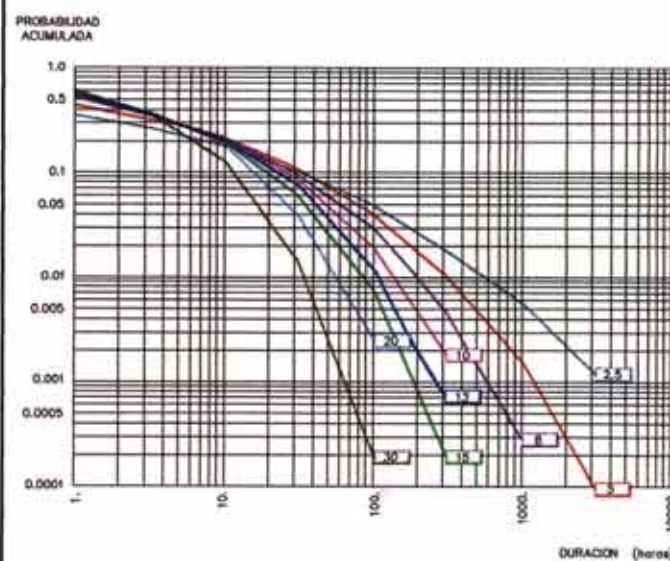


## A3.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES



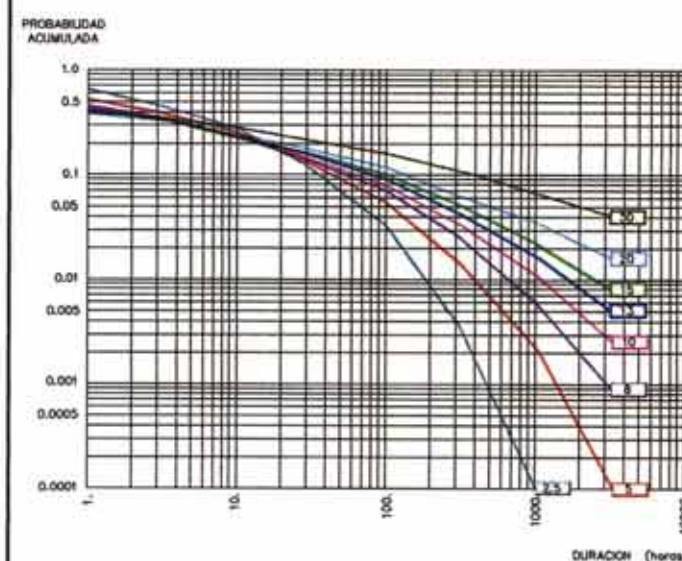
## A4.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: PERSISTENCIA ESCALAR DEL VIENTO

### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-EXCEDENCIAS



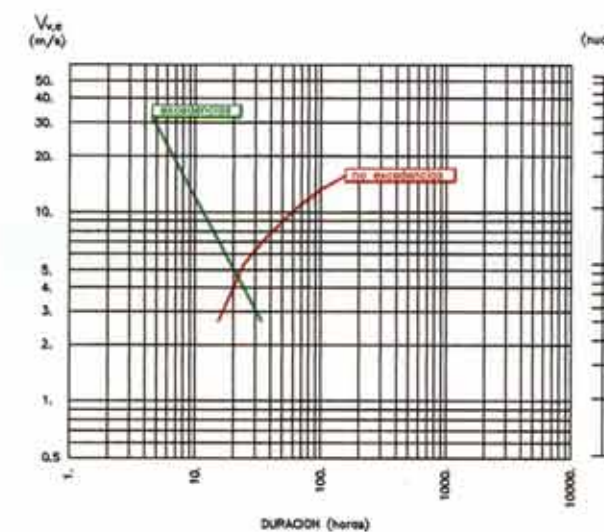
Velocidad del Viento,  $V_{ve}$ , en m/s

### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-NO EXCEDENCIAS

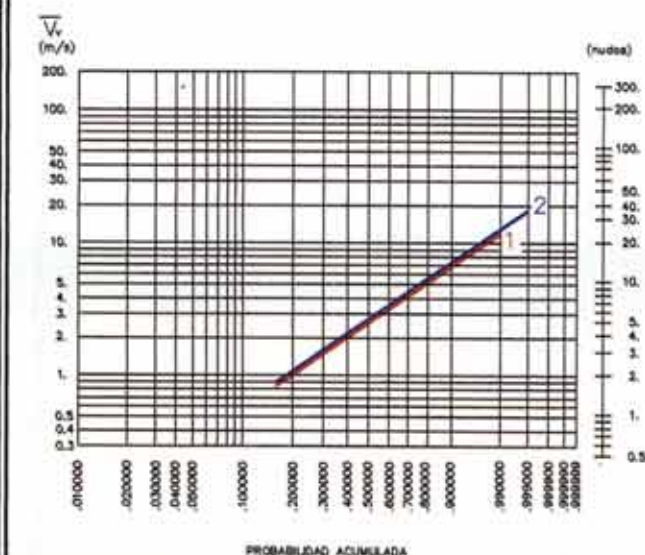


Velocidad del Viento,  $V_{ve}$ , en m/s

### DURACION MEDIA DE LA PERSISTENCIA



## A5.-REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES MEDIOS ESCALARES





# OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

# INFORMACION ANALIZADA

# AREA - IX

## A1.- ROSA DE VIENTOS

ESCALA DE VELOCIDADES ( $V_{e,k}$ )  
(en Unidades Beaufort)

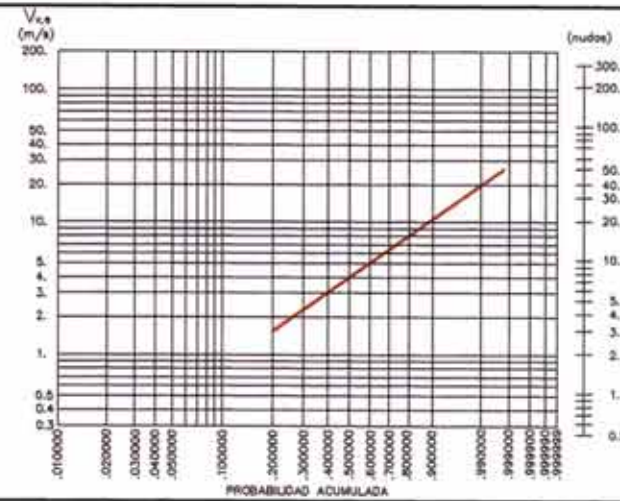


ESCALA DE FRECUENCIAS (%)  
9 mm = 5%



N° TOTAL DE OBSERVACIONES	131.950
N° TOTAL DE CALMAS	13.448
DIRECCION REINANTE	SW

## A2.- REGIMEN MEDIO ESCALAR



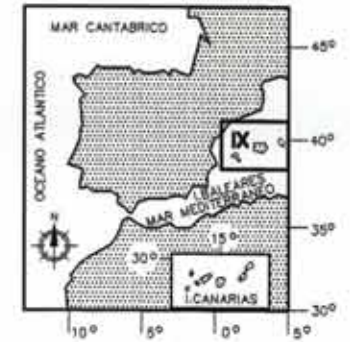
### REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. IBIZA/Aeropuerto	1°- 23' E	38°- 52' N	11 m.	1965-1969
2. PALMA/Aeropuerto	2°- 44' E	39°- 33' N	4 m.	1967-1976
3. MENORCA/Aerop.	4°- 15' E	39°- 53' N	82 m.	1969-1973

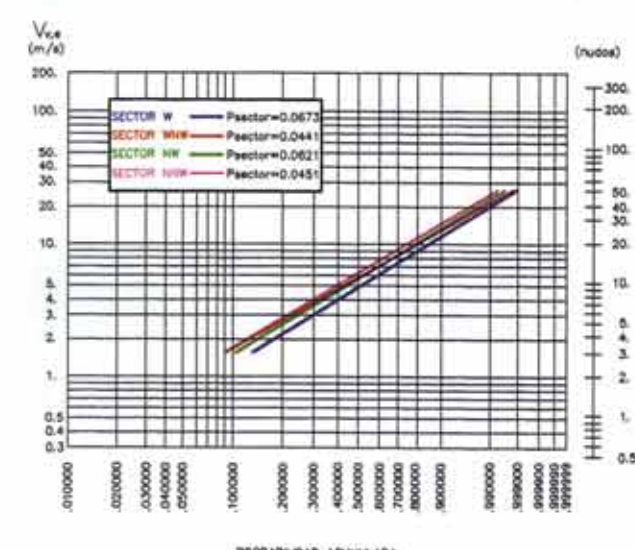
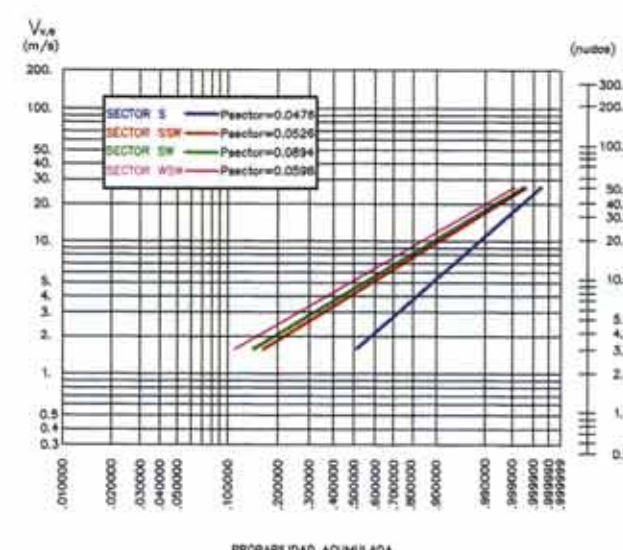
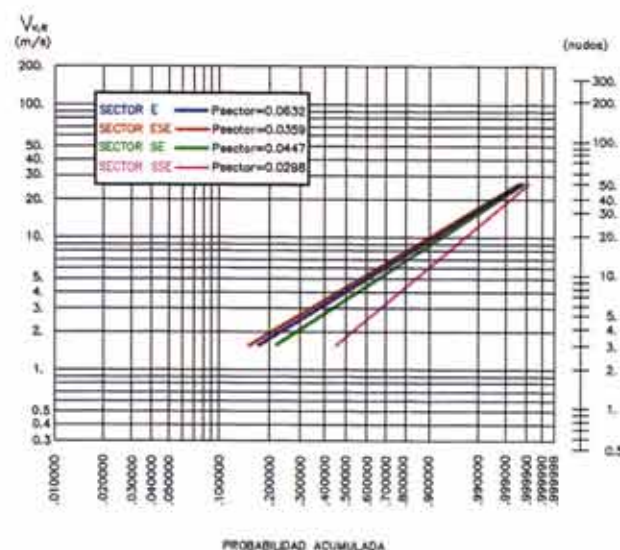
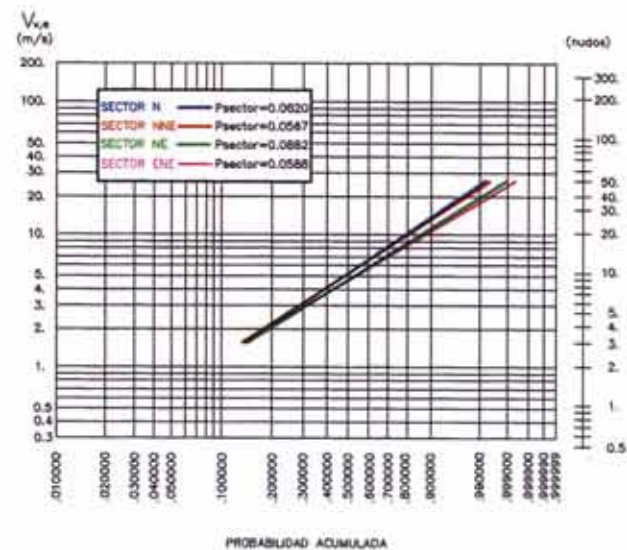
### OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
38.3°N - 41.0°N 0.5°E - 5.5°E	1885 - 1985

## CARACTERIZACION MEDIA

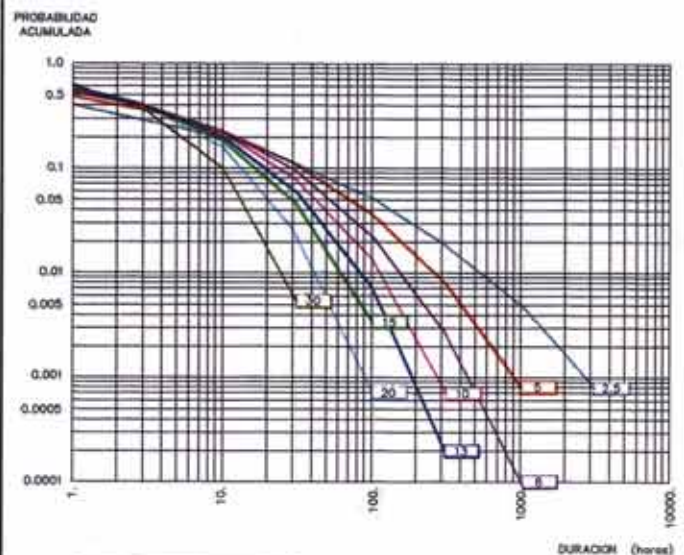


## A3.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES

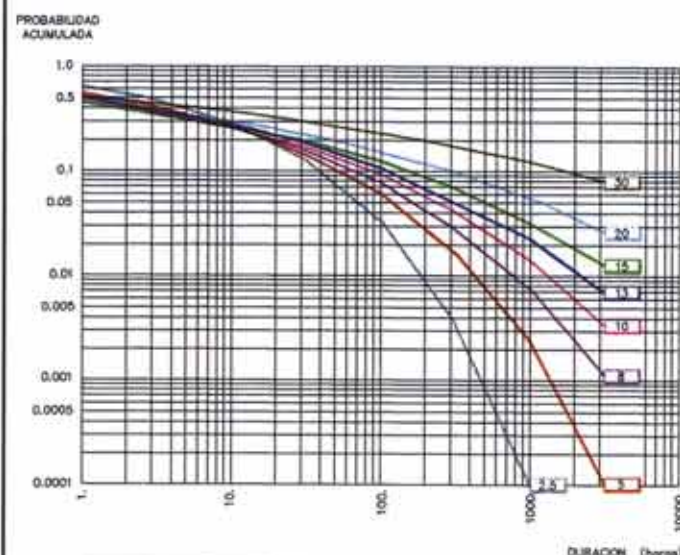


## A4.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: PERSISTENCIA ESCALAR DEL VIENTO

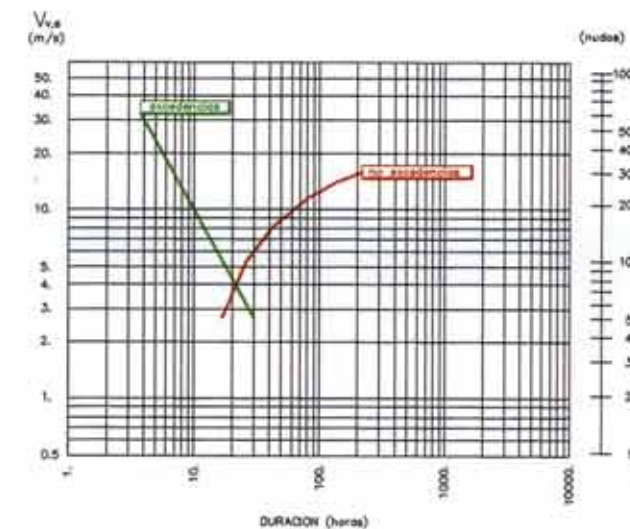
### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-EXCEDENCIAS



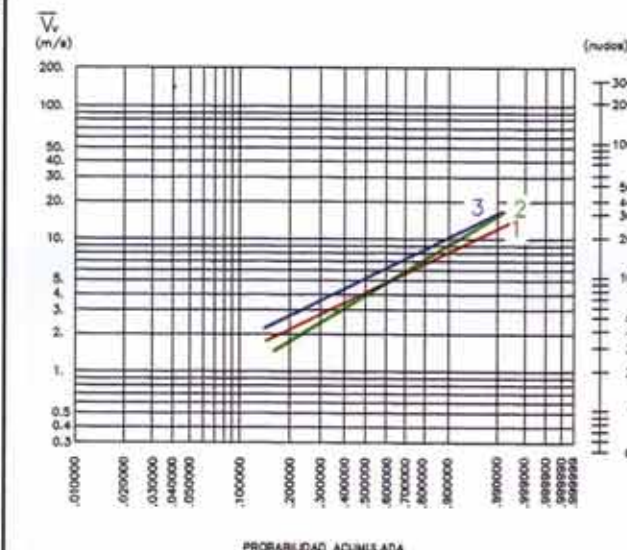
### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-NO EXCEDENCIAS



### DURACION MEDIA DE LA PERSISTENCIA



## A5.-REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES MEDIOS ESCALARES





# OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

## A1.- ROSA DE VIENTOS

Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	190.268
Nº TOTAL DE CALMAS	8.678
DIRECCION REINANTE	NE

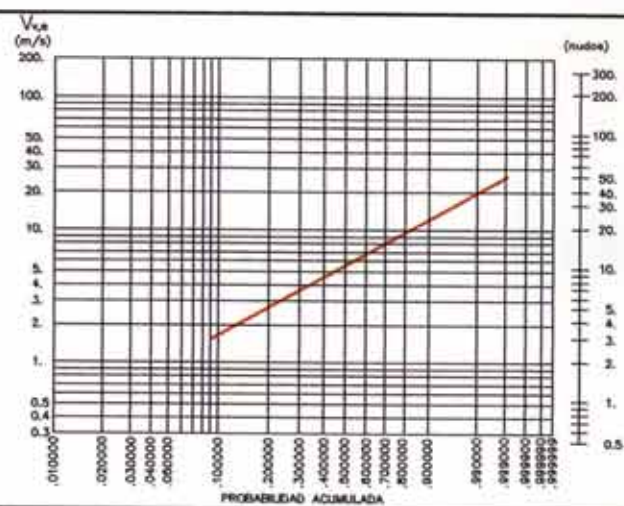
ESCALA DE VELOCIDADES ( $V_{ve}$ )  
(en Unidades Beaufort)



ESCALA DE FRECUENCIAS (%)  
9 mm = 5%



## A2.- REGIMEN MEDIO ESCALAR



# INFORMACION ANALIZADA

## REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. LA PALMA/Aeropuerto	17°- 45' W	28°- 37' N	40 m.	1975-1979
2. HIERRO/Aeropuerto	17°- 52' W	27°- 48' N	34 m.	1975-1979
3. TENERIFE/Los Rodeos	16°- 19' W	28°- 28' N	617 m.	1961-1965
4. LAS PALMAS/Aerop.	15°- 23' W	27°- 55' N	24 m.	1966-1975
5. FUERTEVENTURA/Aerop.	13°- 51' W	28°- 27' N	29 m.	1970-1974
6. LANZAROTE/Aerop.	13°- 36' W	28°- 56' N	21 m.	1968-1972

## OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

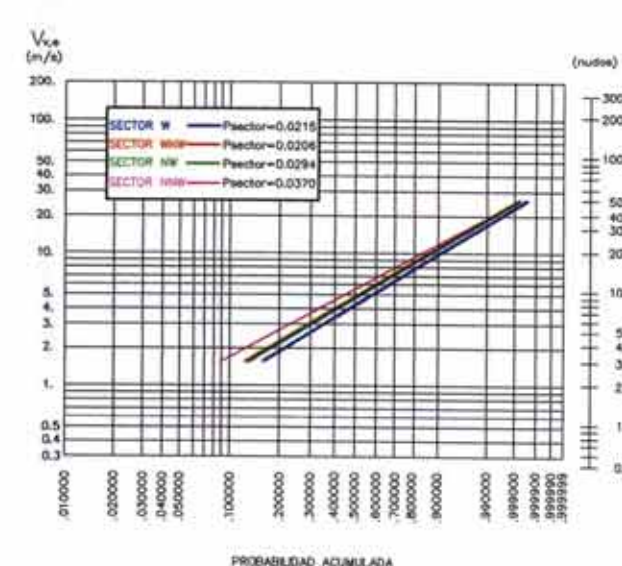
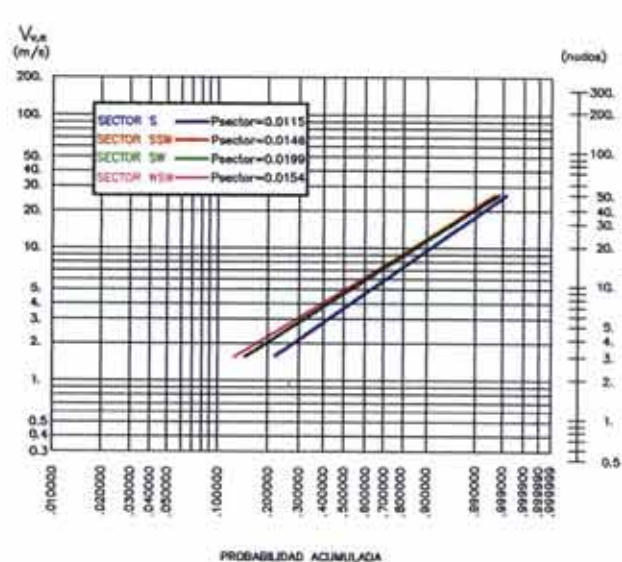
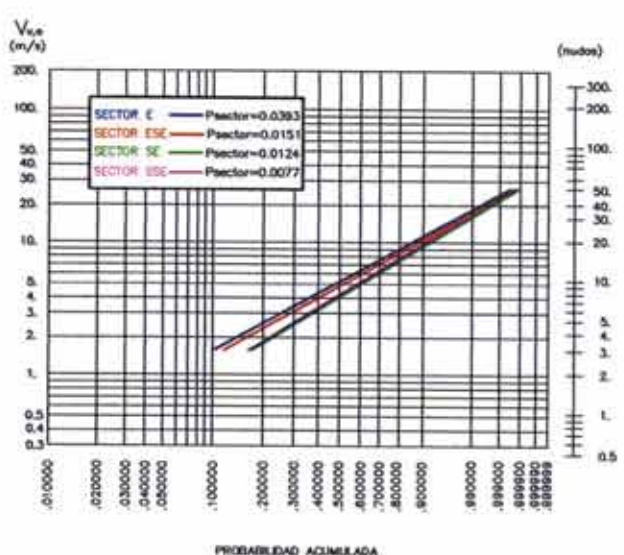
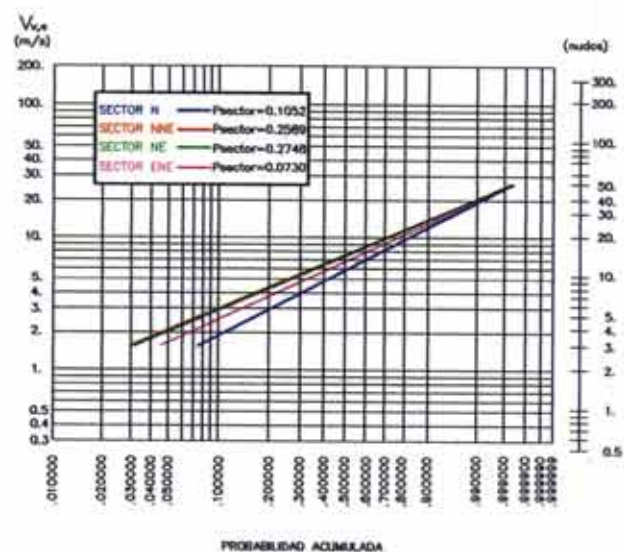
CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
26.5°N - 30.5°N 12.0°W - 20.0°W	1885 - 1985

# AREA - X

## CARACTERIZACION MEDIA

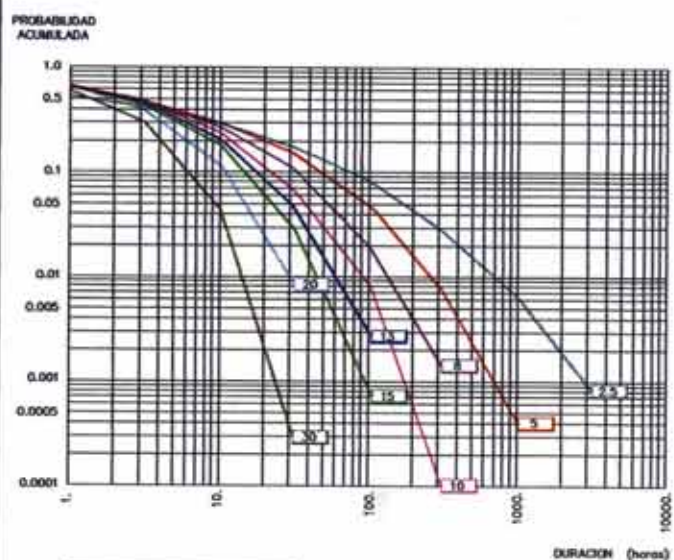


## A3.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES

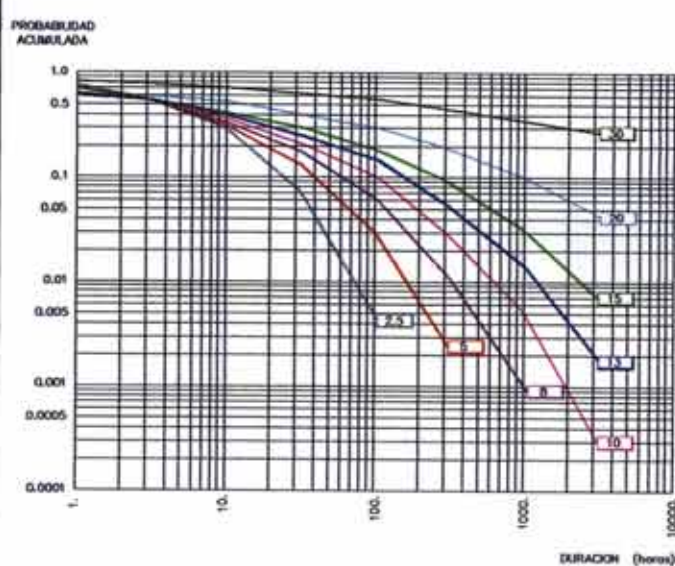


## A4.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: PERSISTENCIA ESCALAR DEL VIENTO

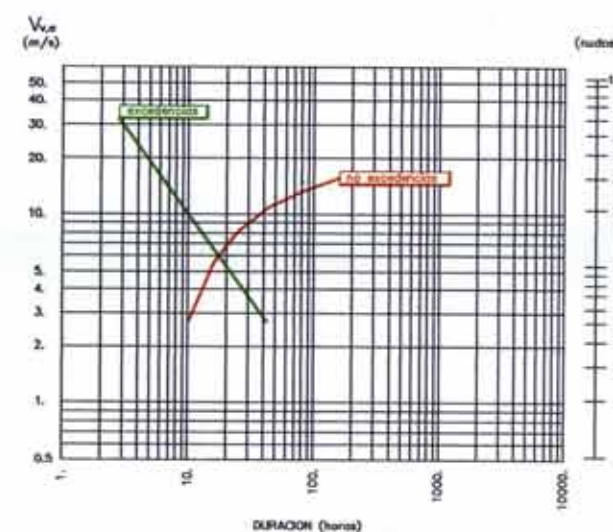
### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-EXCEDENCIAS



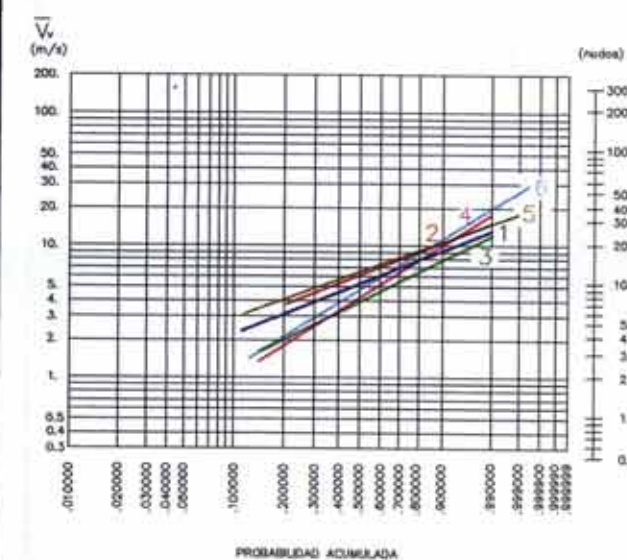
### PERSISTENCIA DEL VIENTO.-NO EXCEDENCIAS



### DURACION MEDIA DE LA PERSISTENCIA

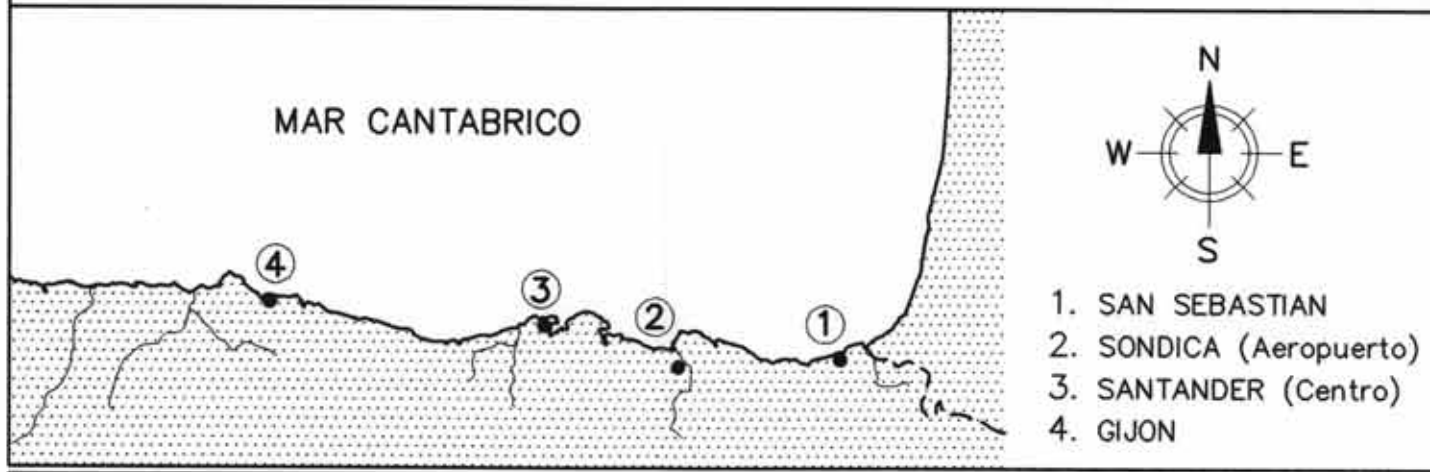


## A5.-REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES MEDIOS ESCALARES





# LOCALIZACION DE LA INFORMACION OBTENIDA EN ESTACIONES COSTERAS



# INFORMACION ANALIZADA

## REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

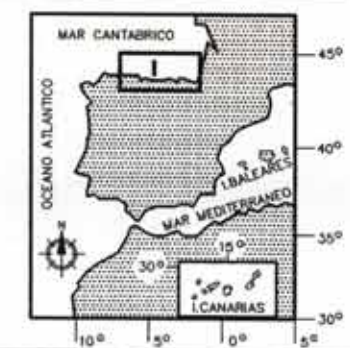
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. SAN SEBASTIAN	1° - 57' W	43° - 19' N	25 m.	1975-1990
2. SONDICA (Aeropuerto)	2° - 55' W	43° - 18' N	34 m.	1961-1990
3. SANTANDER (Centro)	3° - 46' W	43° - 28' N	65 m.	1963-1990
4. GIJON	5° - 38' W	43° - 32' N	10 m.	1961-1990

## OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

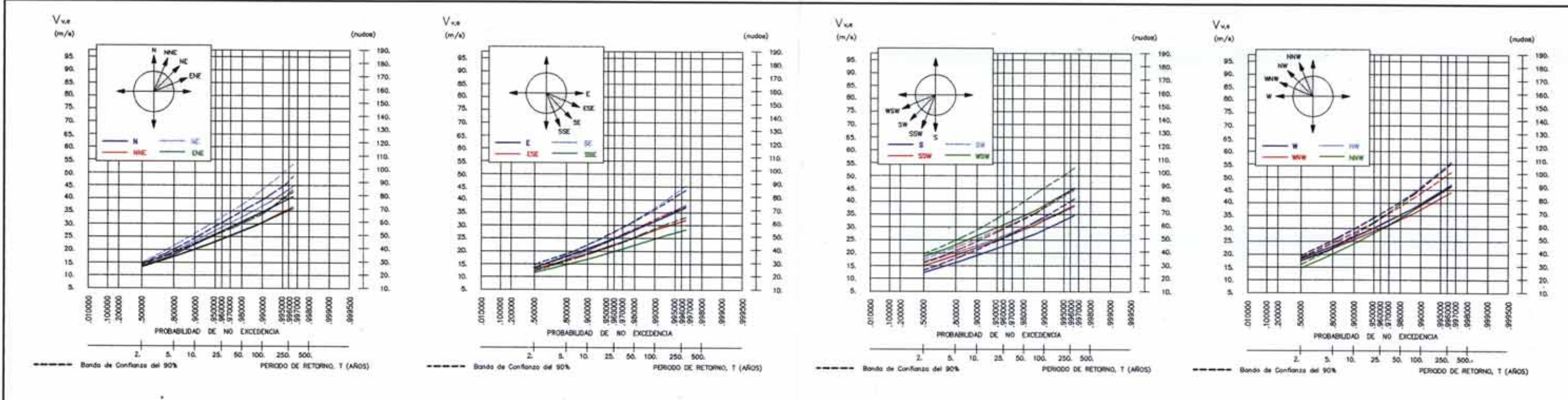
CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
43.0° N - 45.0° N 1.5° W - 7.0° W	1900 - 1978

# AREA - I

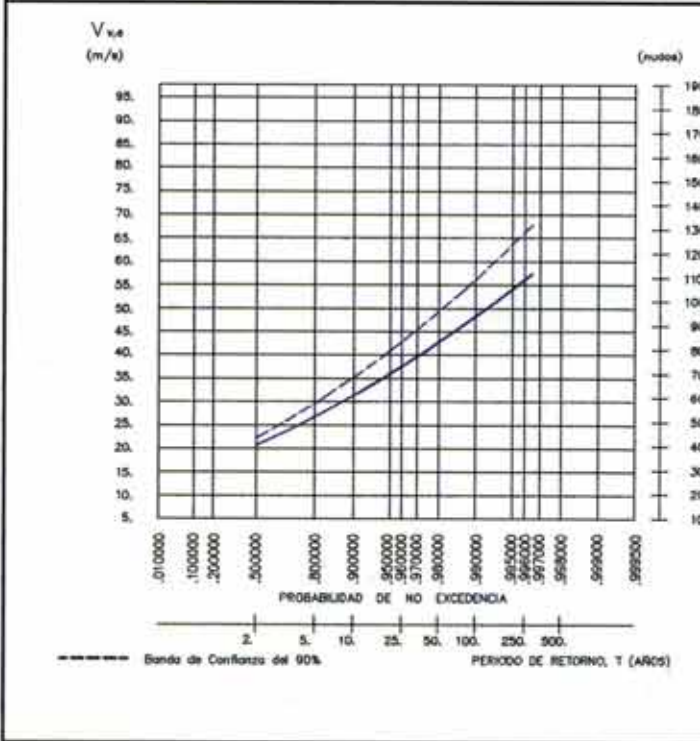
## CARACTERIZACION EXTREMAL



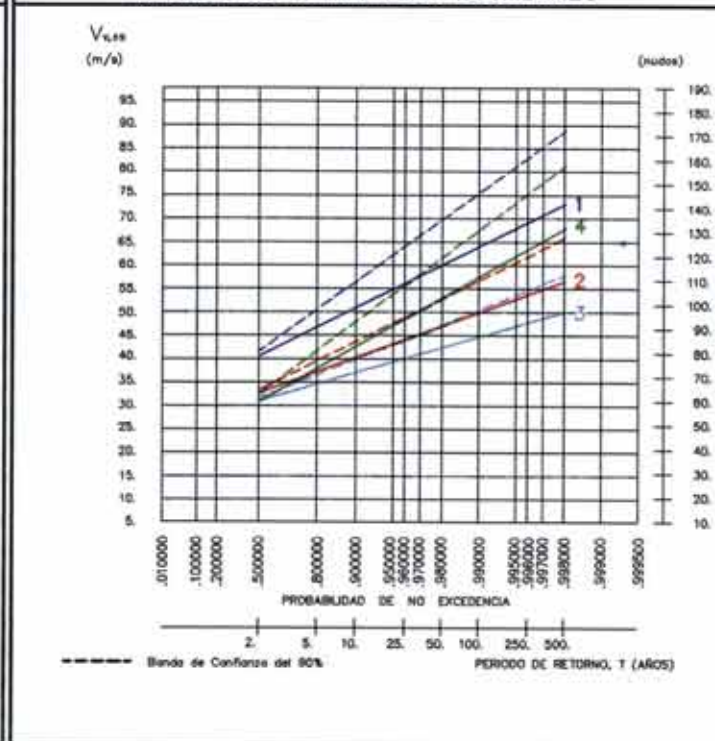
# B1. - OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES EXTREMALES DIRECCIONALES



# B2. - OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMEN EXTREMAL ESCALAR



# B3. - REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



# B4. - VELOCIDAD BASICA, V<sub>b</sub>, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS, RECOMENDADA PARA PROYECTO [V<sub>v,10min</sub>(10)] (en m/s)

DIR	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
K <sub>α</sub>	0.75	0.65	0.80	0.65	0.65	0.65	0.70	0.55	0.60	0.75	0.75	0.85	0.85	0.80	0.85	0.85



# ROM 0.4-95. ACCIONES MEDIOAMBIENTALES II: VIENTO ATLAS DE VIENTO DEL LITORAL ESPAÑOL



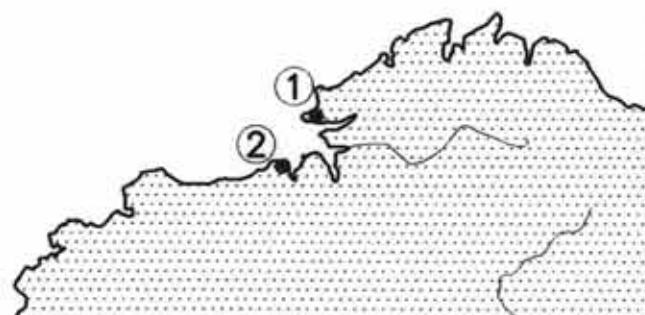
# LOCALIZACION DE LA INFORMACION OBTENIDA EN ESTACIONES COSTERAS



- 1. MONTEVENTOSO
- 2. LA CORUÑA

OCEANO ATLANTICO

MAR CANTABRICO



# INFORMACION ANALIZADA

## REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

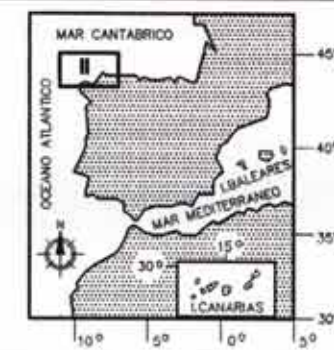
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. MONTEVENTOSO	8° - 15' W	43° - 29' N	240 m.	1975-1990
2. LA CORUÑA	8° - 25' W	43° - 22' N	67 m.	1975-1989

## OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

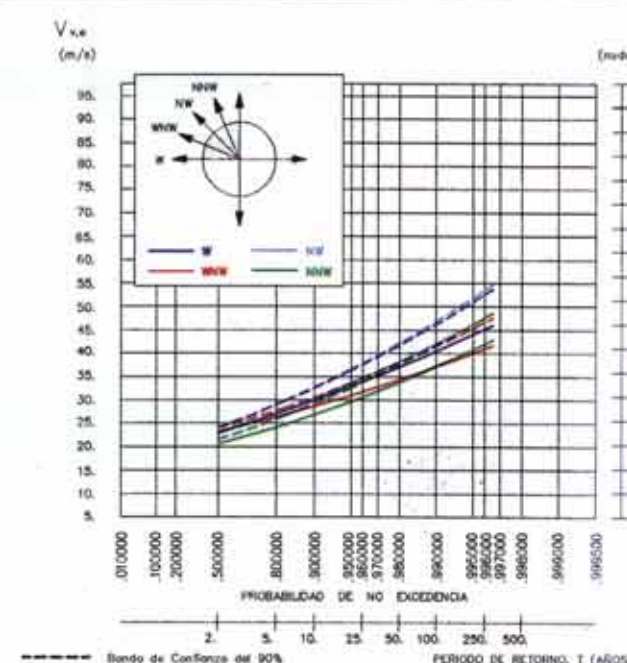
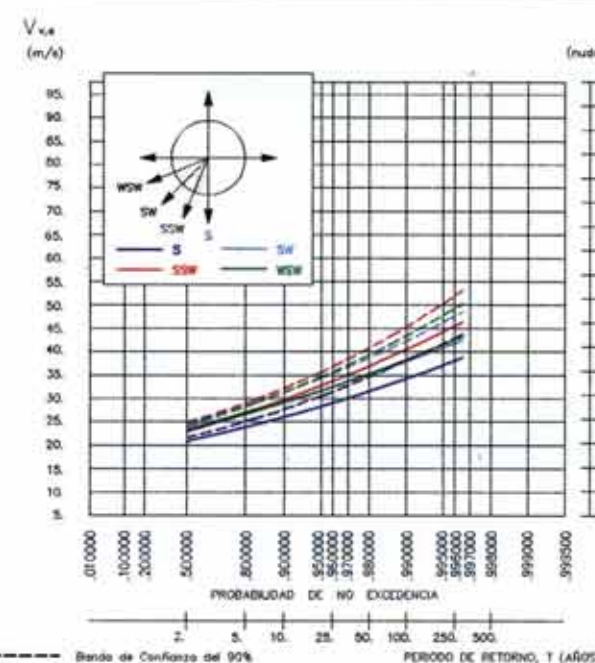
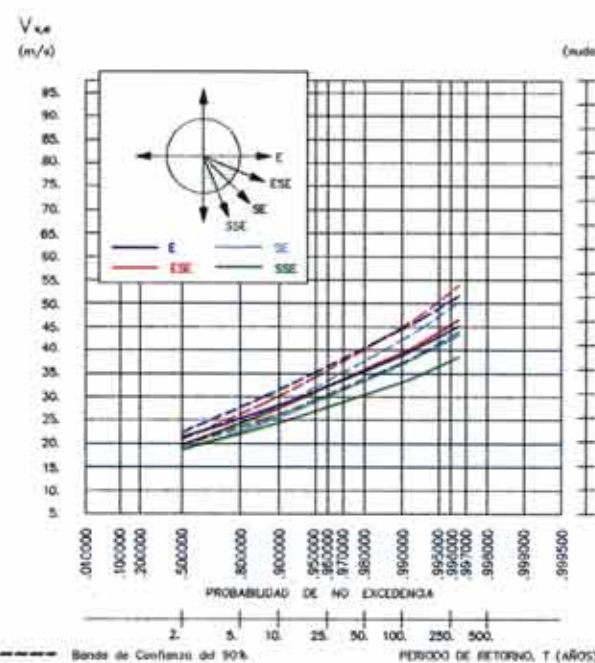
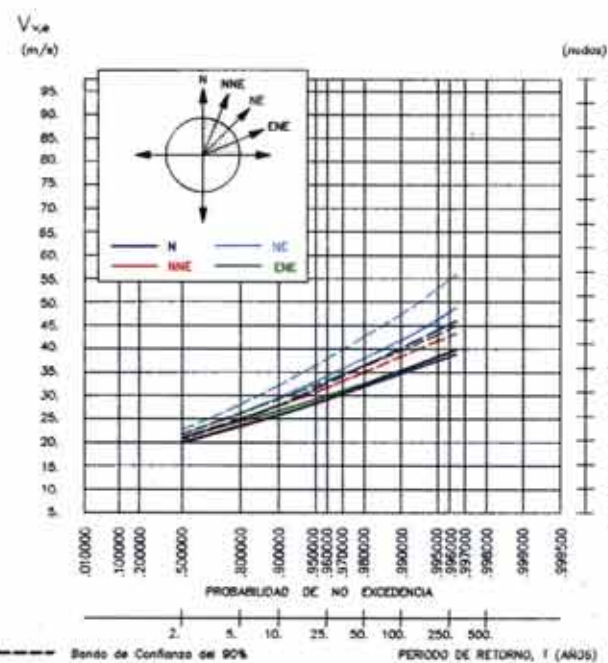
CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
43.2° N - 45.0° N 7.0° W - 11.0° W	1900 - 1977

# AREA - II

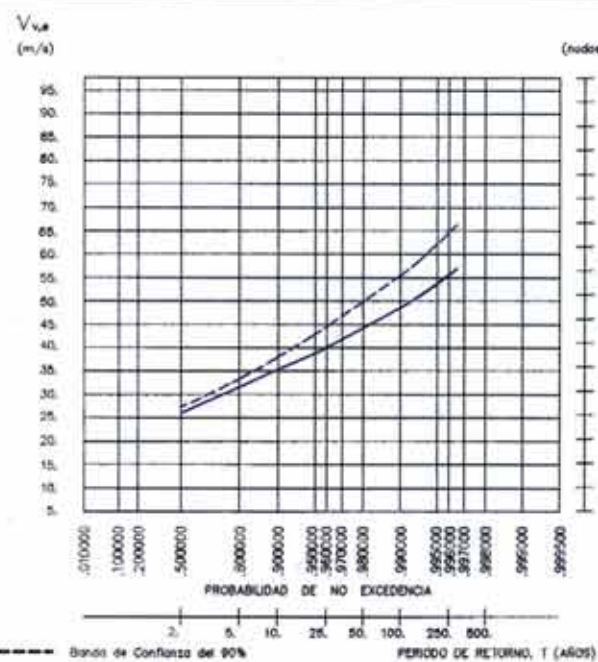
## CARACTERIZACION EXTREMAL



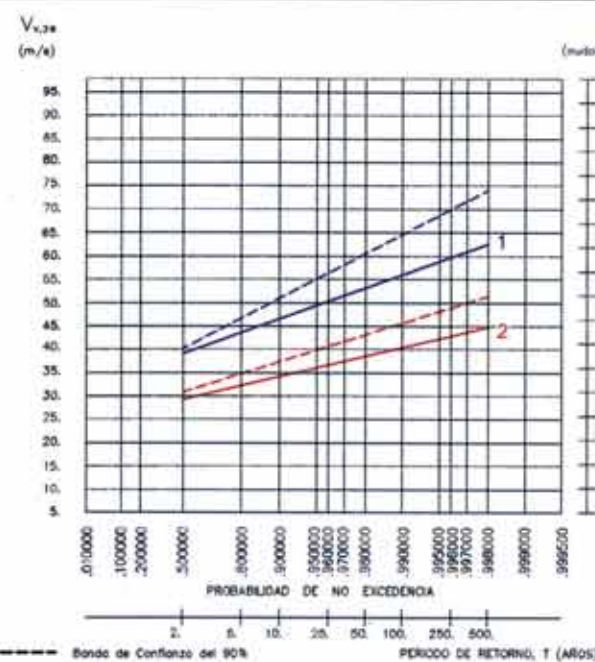
### B1.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES EXTREMALES DIRECCIONALES



### B2.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMEN EXTREMAL ESCALAR

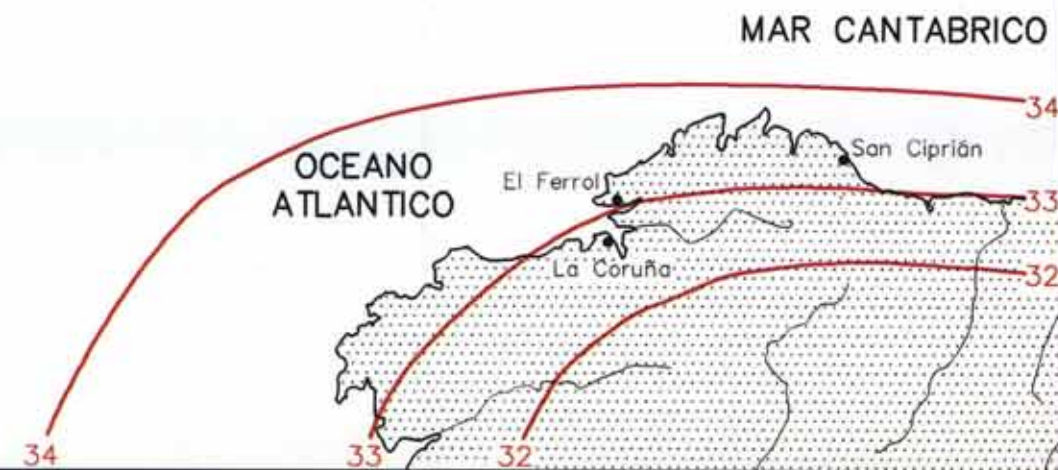


### B3.- REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



### B4.- VELOCIDAD BASICA, Vb, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS, RECOMENDADA PARA PROYECTO [Vv,10min (10)] (en m/s)

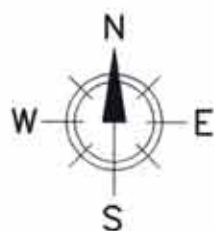
DIR	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
K <sub>α</sub>	0.75	0.75	0.90	0.80	0.85	0.85	0.80	0.70	0.75	0.90	0.85	0.85	0.90	0.80	0.90	0.80



### ROM 0.4-95. ACCIONES MEDIOAMBIENTALES II: VIENTO ATLAS DE VIENTO DEL LITORAL ESPAÑOL



# LOCALIZACION DE LA INFORMACION OBTENIDA EN ESTACIONES COSTERAS



- 1. MARIN
- 2. VIGO (Aeropuerto)

OCEANO ATLANTICO



# INFORMACION ANALIZADA

## REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. MARIN	8° - 42' W	42° - 24' N	14 m.	1975-1985
2. VIGO (Aeropuerto)	8° - 38' W	42° - 13' N	256 m.	1961-1990

## OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

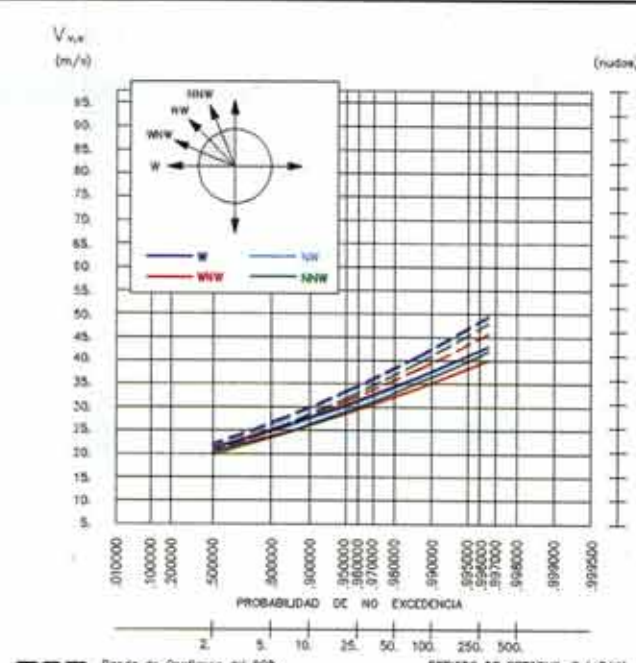
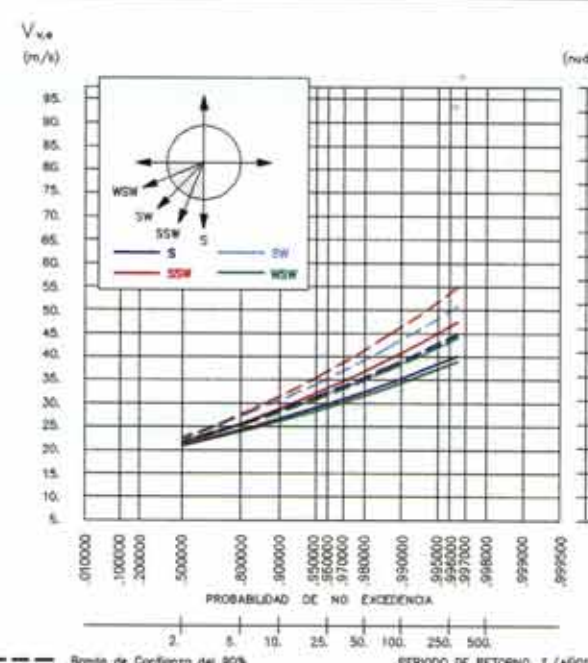
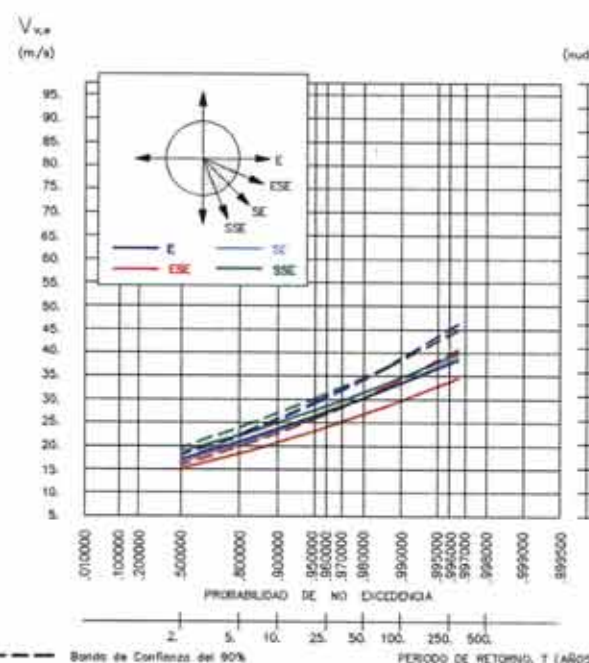
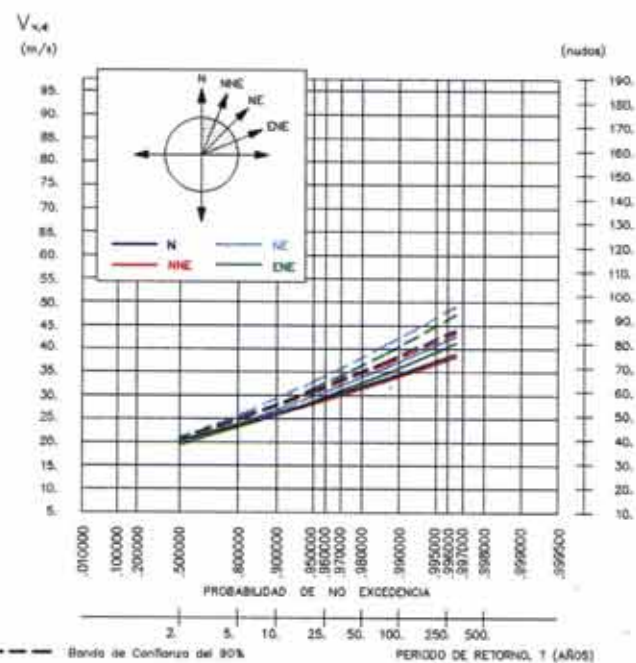
CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
41.5° N - 43.2° N 8.0° W - 11.0° W	1900 - 1978

# AREA - III

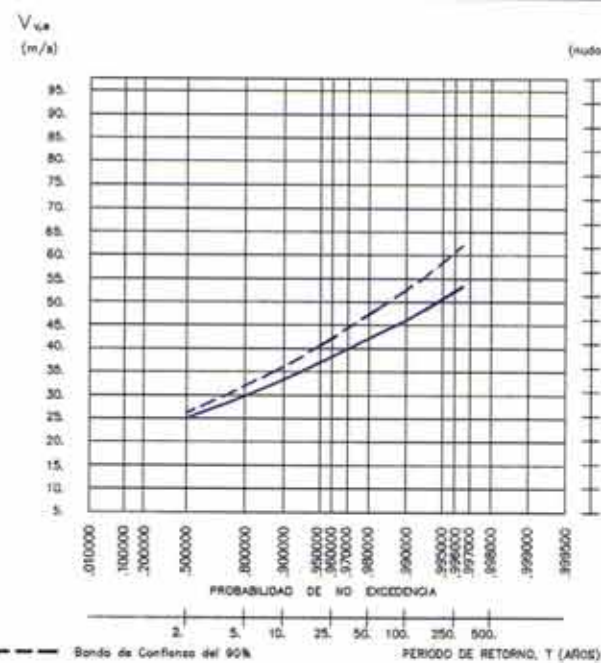
## CARACTERIZACION EXTREMAL



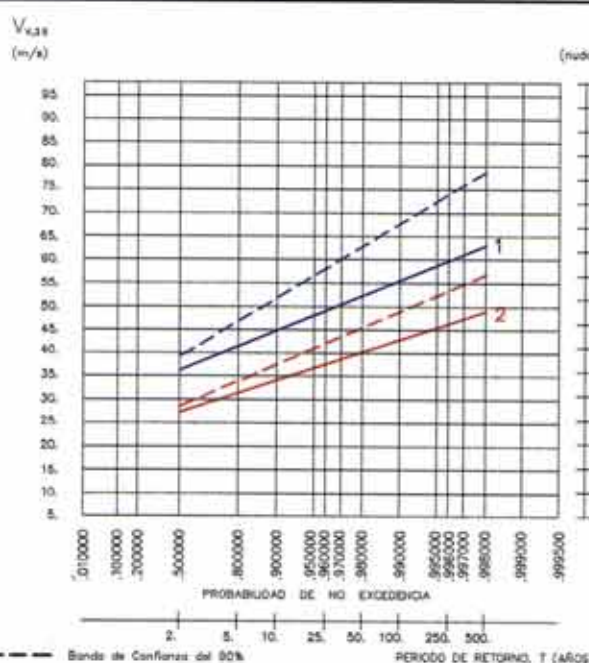
### B1.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES EXTREMALES DIRECCIONALES



### B2.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMEN EXTREMAL ESCALAR



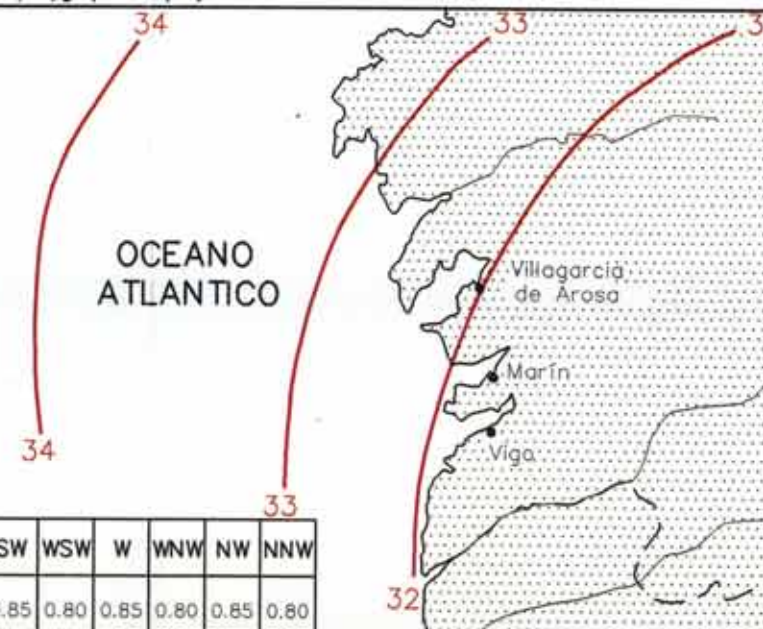
### B3.- REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



### B4.- VELOCIDAD BASICA, Vb, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS, RECOMENDADA PARA PROYECTO [Vv,10min(10)] (en m/s)



OCEANO ATLANTICO



DIR	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
K <sub>α</sub>	0.80	0.80	0.85	0.80	0.75	0.65	0.75	0.75	0.80	0.90	0.85	0.80	0.85	0.80	0.85	0.80

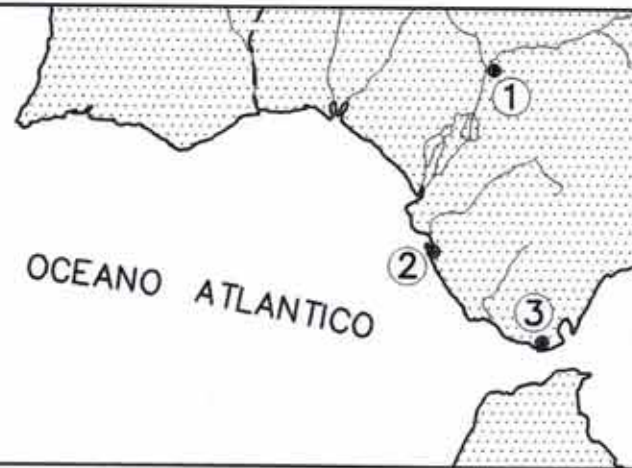
## ROM 0.4-95. ACCIONES MEDIOAMBIENTALES II: VIENTO ATLAS DE VIENTO DEL LITORAL ESPAÑOL



LOCALIZACION DE LA INFORMACION OBTENIDA EN ESTACIONES COSTERAS



- 1. SEVILLA (San Pablo)
- 2. SAN FERNANDO
- 3. TARIFA



INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

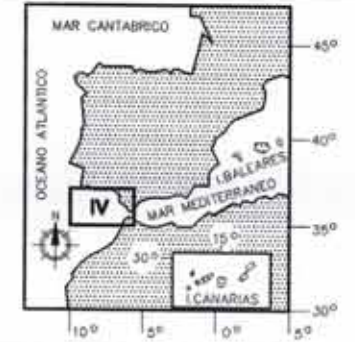
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. SEVILLA (S. Pablo)	5° - 53' W	37° - 25' N	20 m.	1961-1990
2. SAN FERNANDO	6° - 12' W	36° - 28' N	30 m.	1962-1988
3. TARIFA	5° - 36' W	36° - 00' N	37 m.	1975-1990

OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

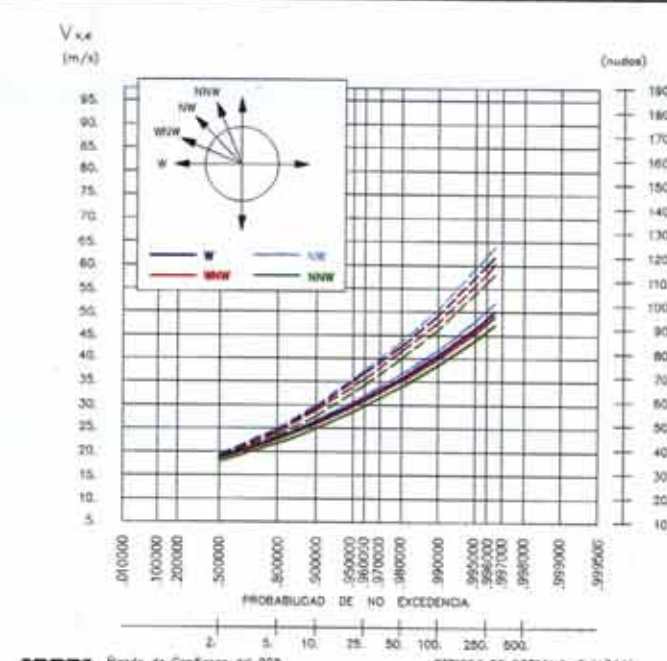
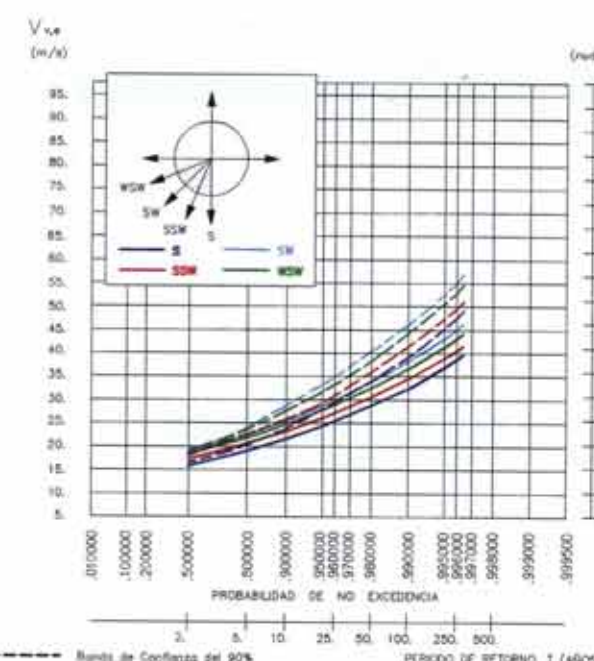
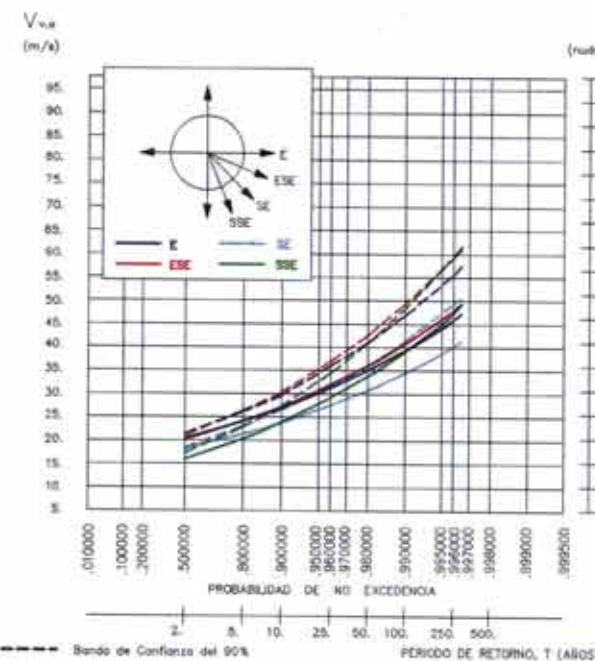
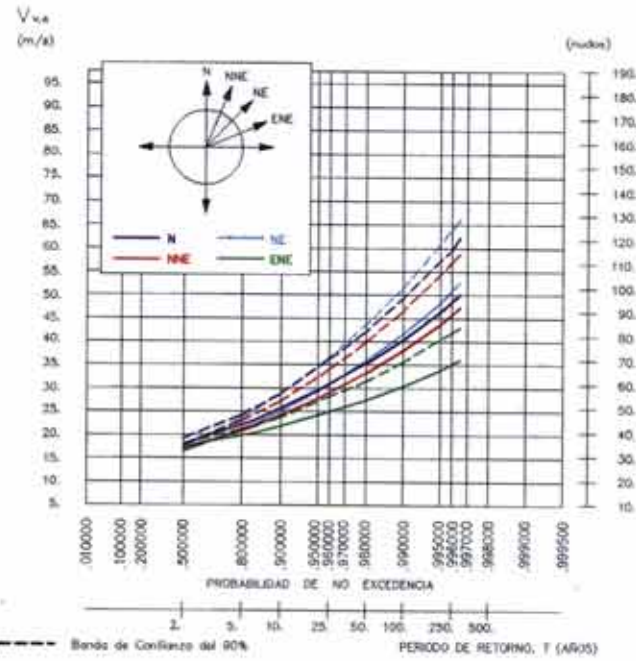
CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
35.0° N - 37.1° N 5.6° W - 10.0° W	1900 - 1978

AREA - IV

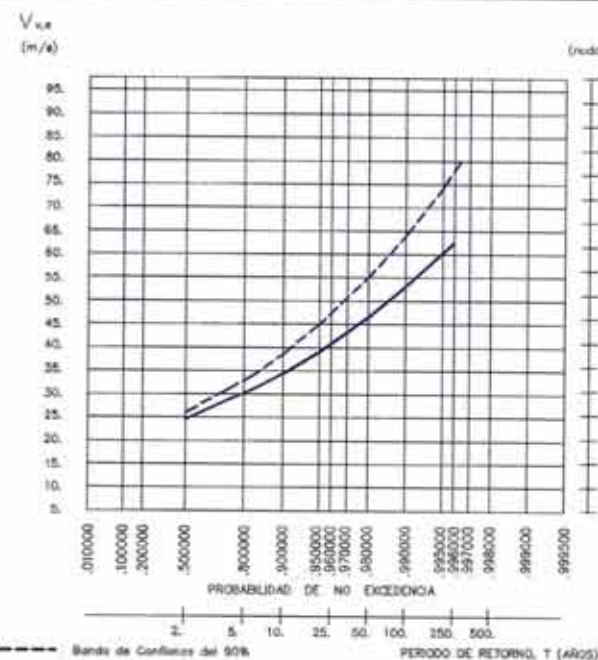
CARACTERIZACION EXTREMAL



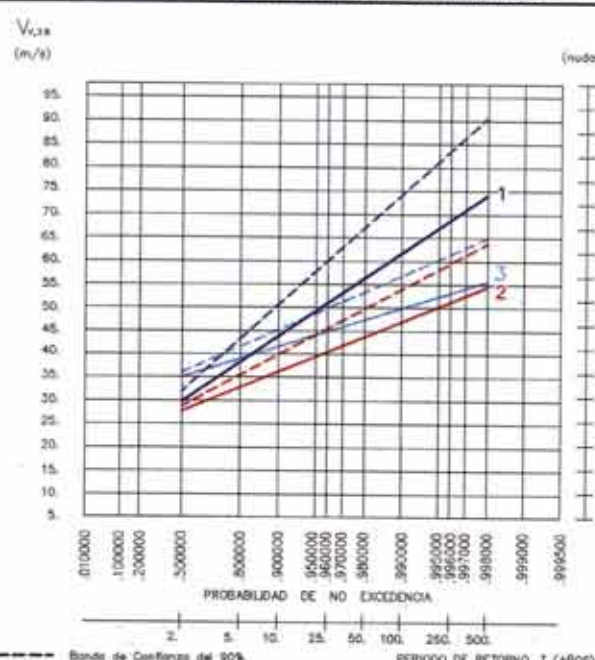
B1.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES EXTREMOS DIRECCIONALES



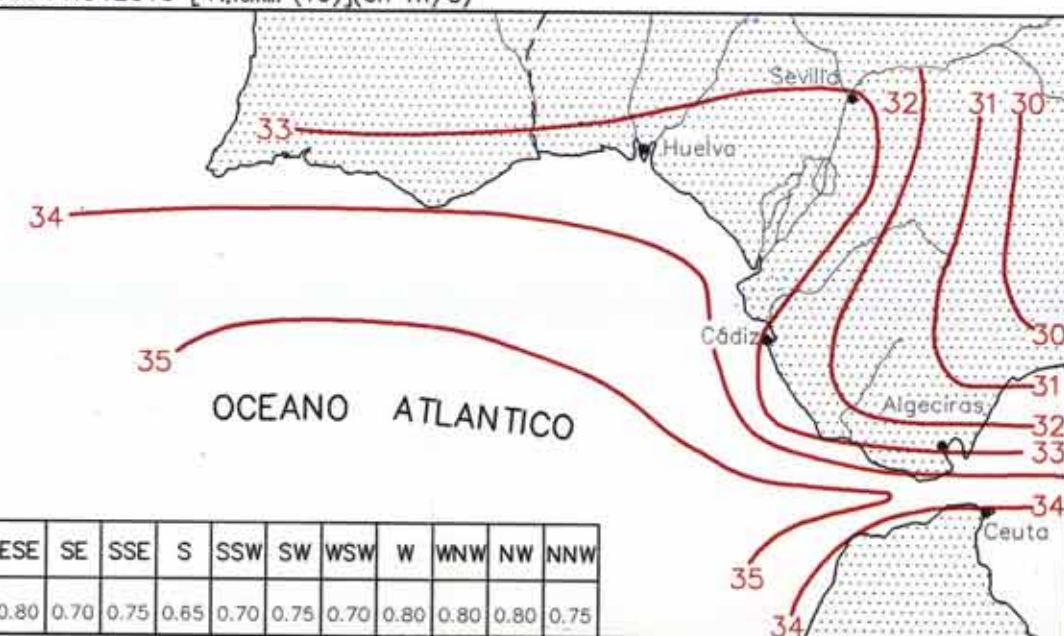
B2.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMEN EXTREMAL ESCALAR



B3.- REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES EXTREMOS ESCALARES



B4.- VELOCIDAD BASICA, Vb, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS, RECOMENDADA PARA PROYECTO [Vv,10min(10)](en m/s)

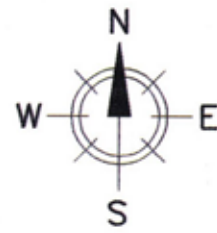


DIR	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
K <sub>α</sub>	0.80	0.75	0.80	0.60	0.75	0.80	0.70	0.75	0.65	0.70	0.75	0.70	0.80	0.80	0.80	0.75

ROM 0.4-95. ACCIONES MEDIOAMBIENTALES II: VIENTO  
ATLAS DE VIENTO DEL LITORAL ESPAÑOL

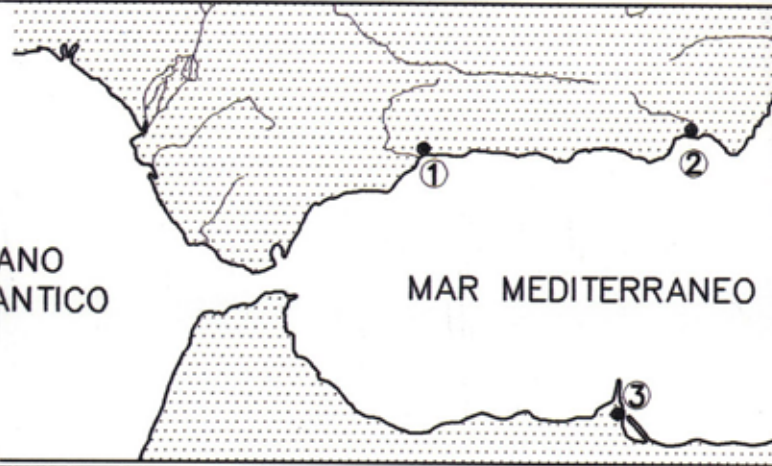


LOCALIZACION DE LA INFORMACION OBTENIDA EN ESTACIONES COSTERAS



- 1. MALAGA(Aeropuerto)
- 2. ALMERIA(Aeropuerto)
- 3. MELILLA

OCEANO ATLANTICO MAR MEDITERRANEO



INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

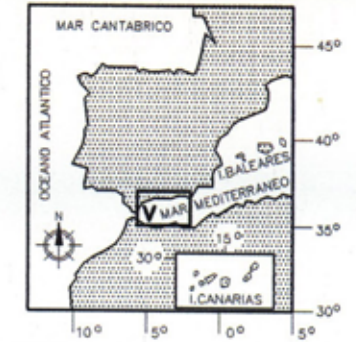
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. MALAGA (Aeropuerto)	4° - 29' W	36° - 40' N	10 m.	1972-1990
2. ALMERIA (Aeropuerto)	2° - 22' W	36° - 51' N	21 m.	1974-1990
3. MELILLA	2° - 57' W	35° - 17' N	55 m.	1975-1990

OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

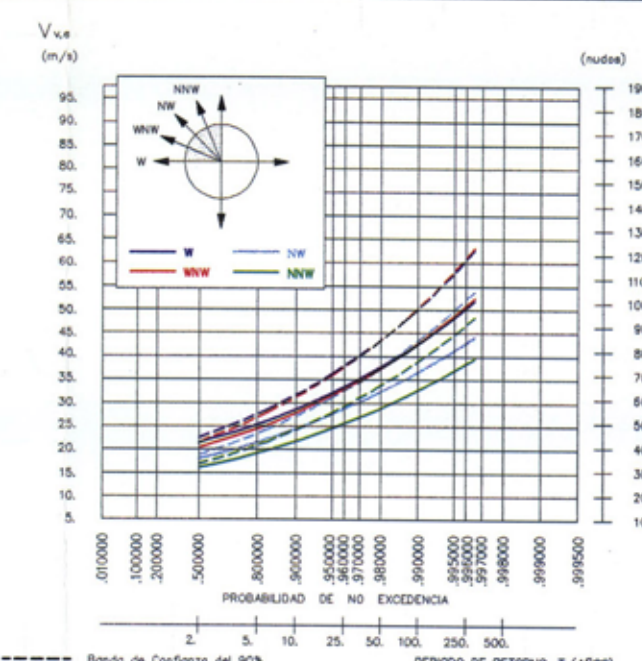
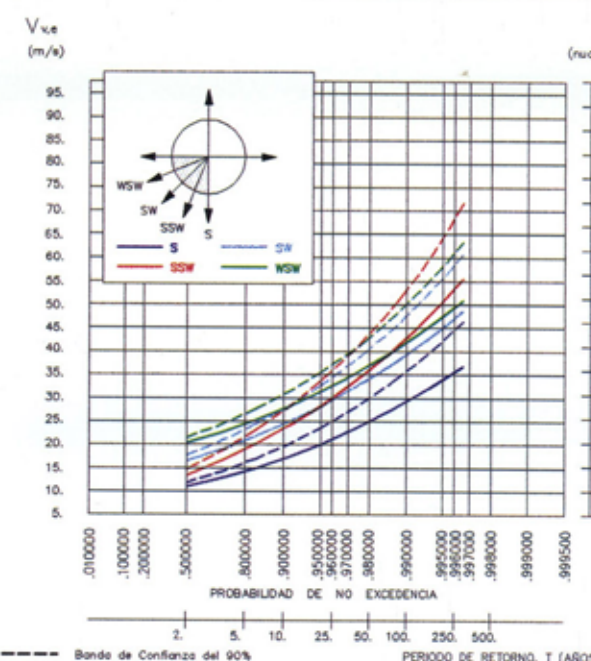
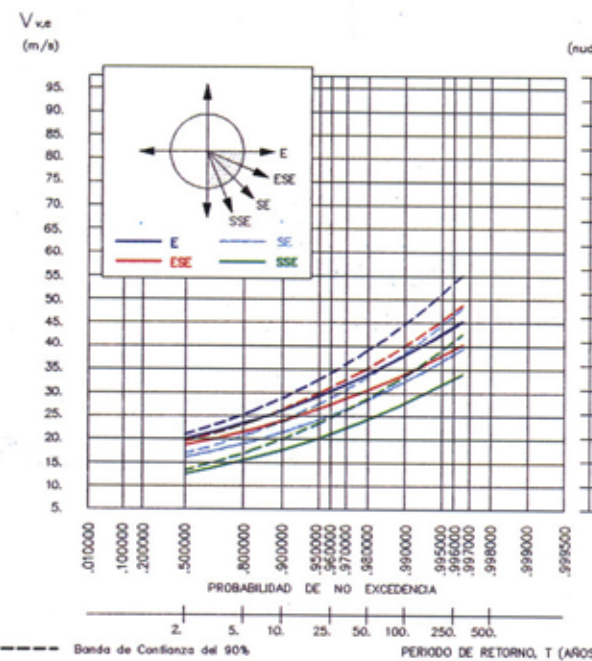
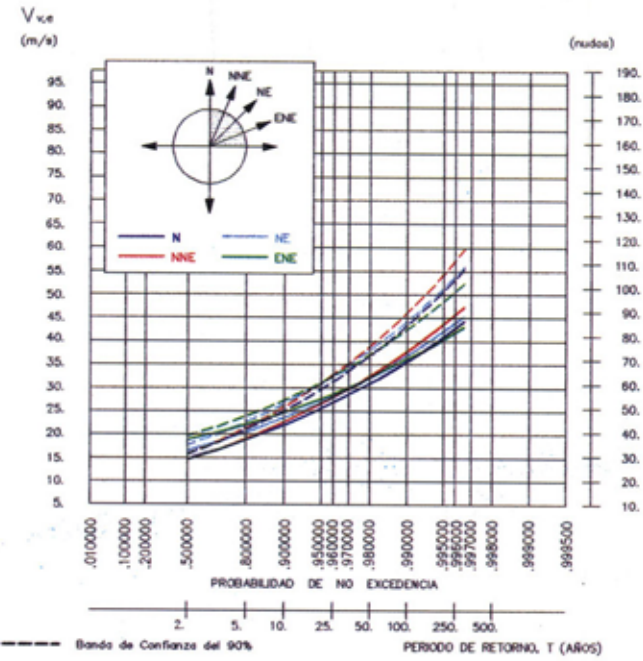
CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
35.0° N - 37.0° N 2.0° W - 5.6° W	1900 - 1978

AREA - V

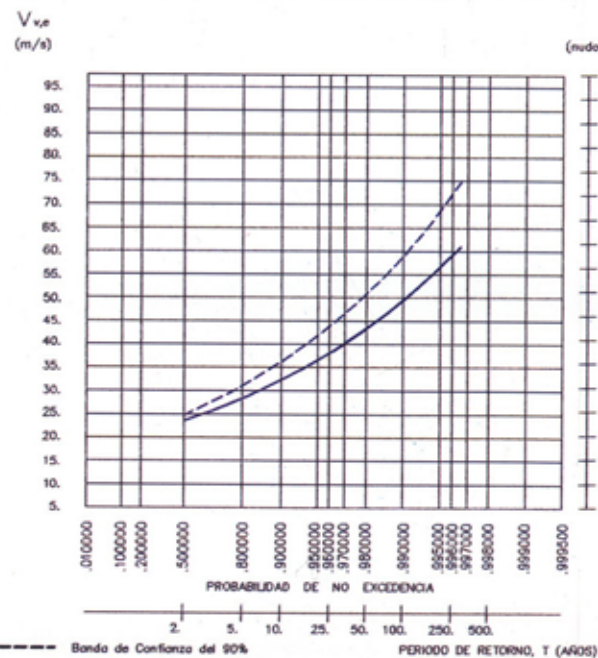
CARACTERIZACION EXTREMAL



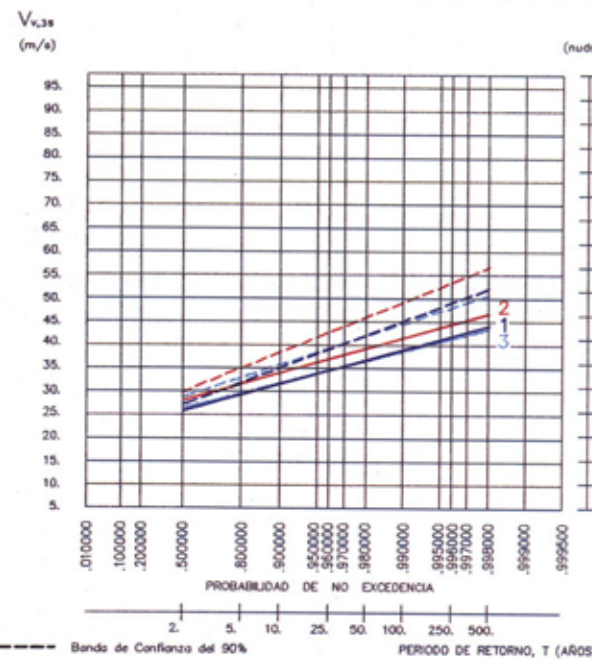
B1.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES EXTREMALES DIRECCIONALES



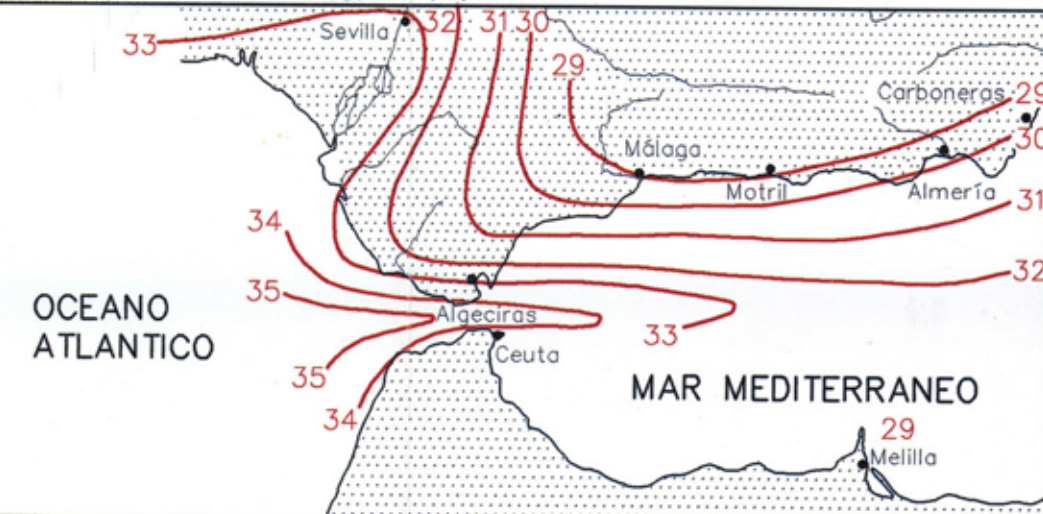
B2.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMEN EXTREMAL ESCALAR



B3.- REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



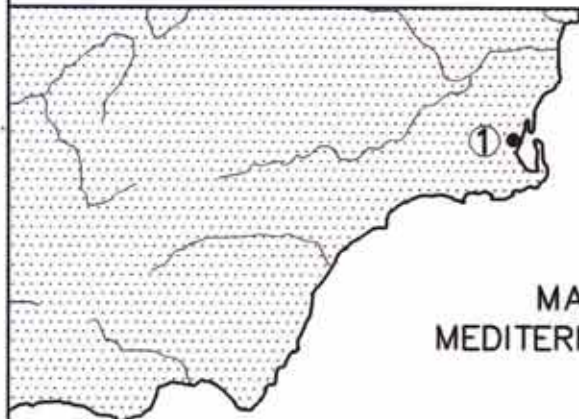
B4.- VELOCIDAD BASICA, Vb, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS, RECOMENDADA PARA PROYECTO [Vv,10min(10)](en m/s)



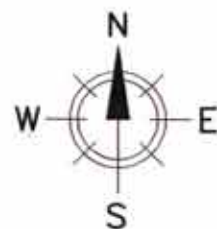
DIR	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
K <sub>α</sub>	0.75	0.80	0.80	0.75	0.80	0.75	0.70	0.60	0.60	0.95	0.85	0.90	0.90	0.90	0.80	0.70



LOCALIZACION DE LA INFORMACION OBTENIDA EN ESTACIONES COSTERAS



MAR MEDITERRANEO



1. SAN JAVIER / C.H.S.

INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

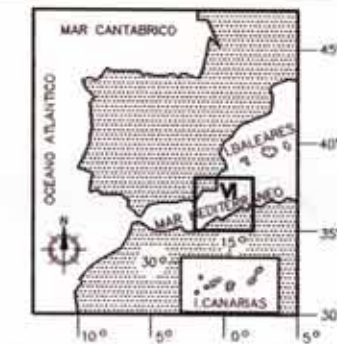
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. SAN JAVIER/C.H.S.	0° - 50' W	37° - 48' N	1 m.	1974-1990

OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

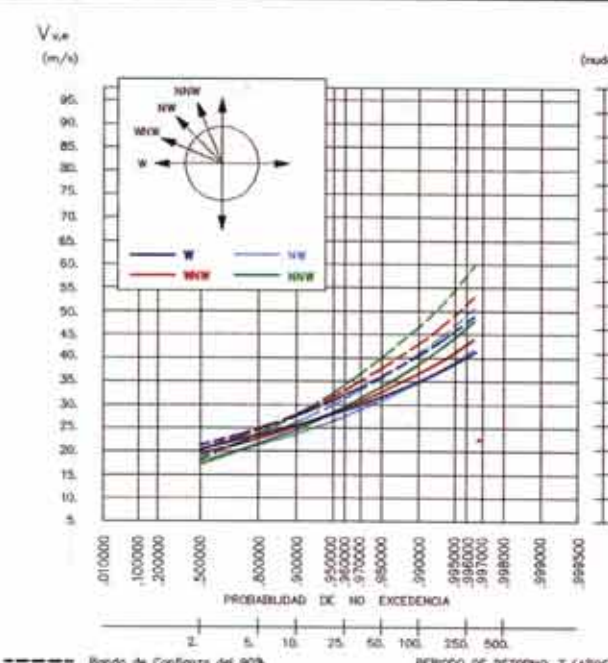
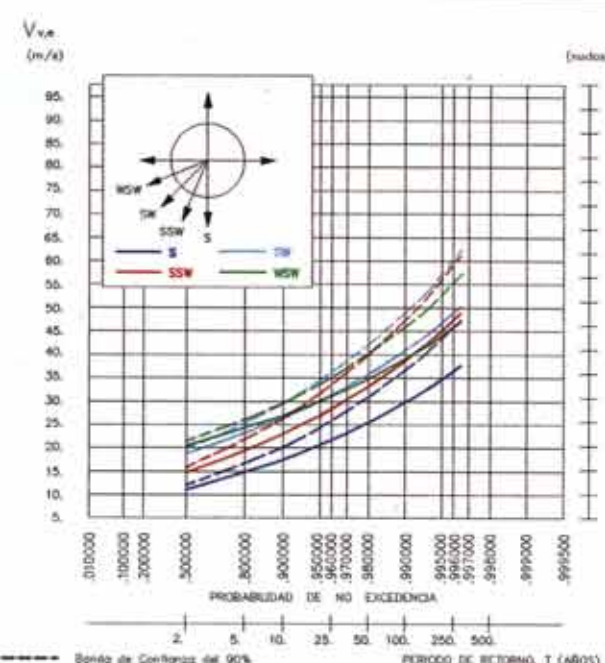
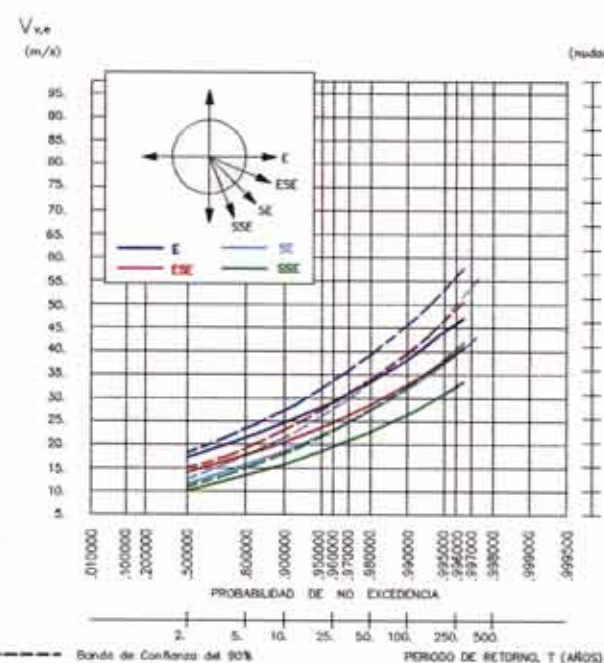
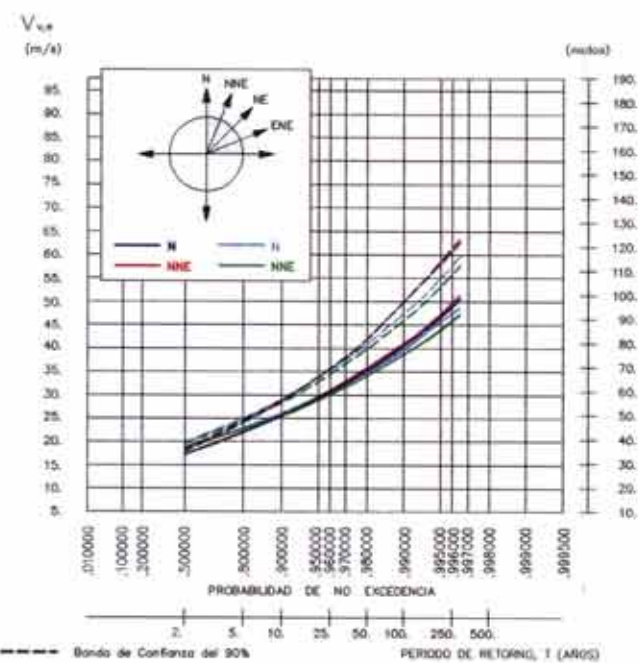
CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
35.0° N - 38.0° N 2.0° W - 2.0° E	1900 - 1977

AREA - VI

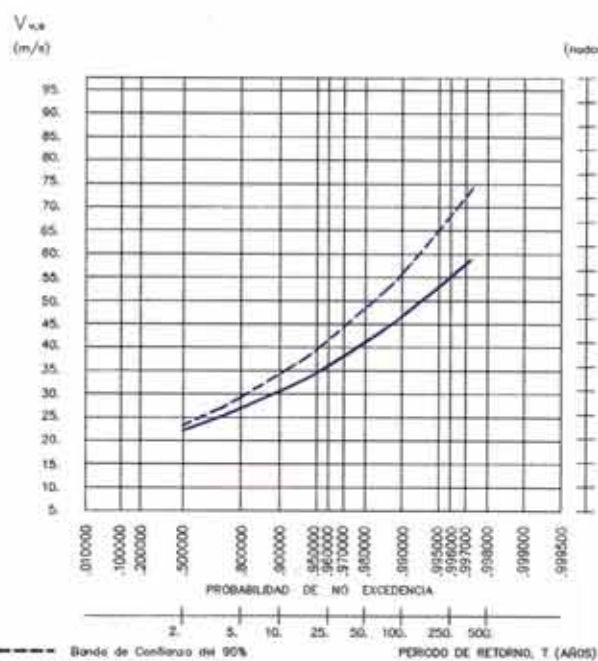
CARACTERIZACION EXTREMAL



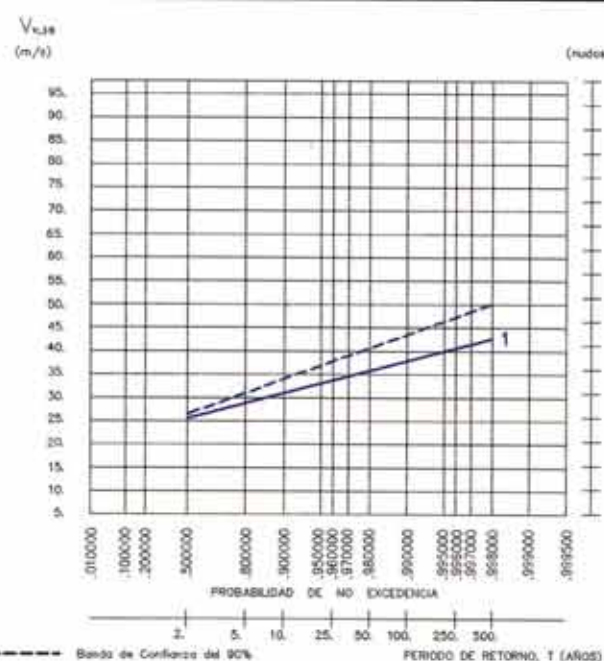
B1.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES EXTREMALES DIRECCIONALES



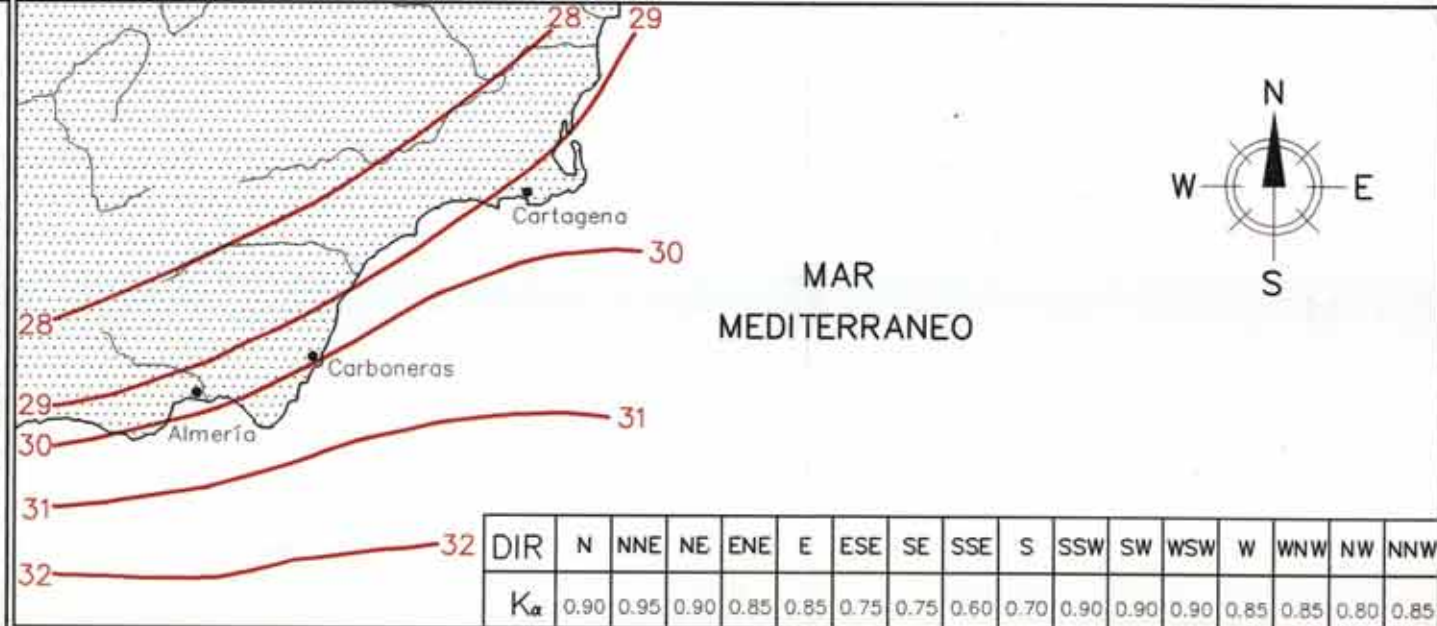
B2.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMEN EXTREMAL ESCALAR



B3.- REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES

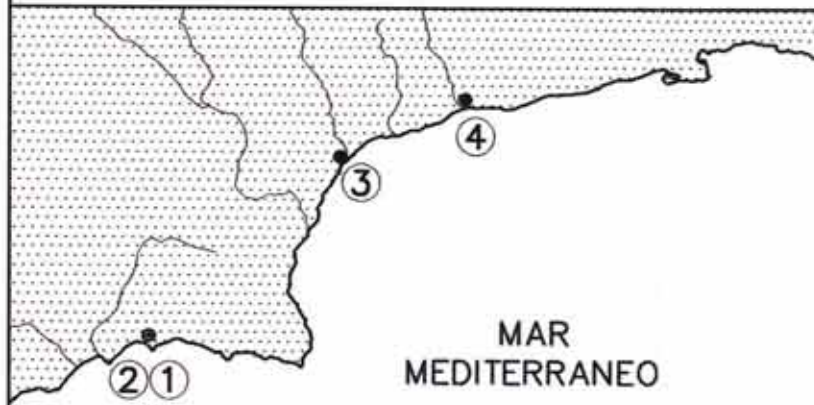


B4.- VELOCIDAD BASICA, V\_b, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS, RECOMENDADA PARA PROYECTO [V\_{v,10min}(10)](en m/s)





### LOCALIZACION DE LA INFORMACION OBTENIDA EN ESTACIONES COSTERAS



1. ALICANTE (El Alted)
2. ALICANTE (C. Jardin)
3. VALENCIA
4. CASTELLON (Almanzora)

MAR MEDITERRANEO

### INFORMACION ANALIZADA

#### REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

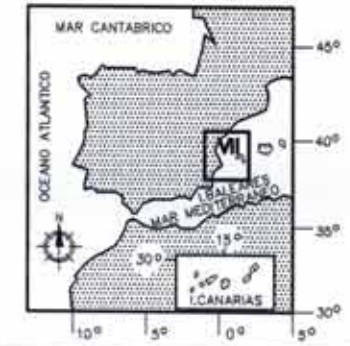
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. ALICANTE (El Alted)	0° - 33' W	38° - 17' N	31 m.	1970-1990
2. ALICANTE (C. Jardin)	0° - 30' W	38° - 22' N	82 m.	1967-1990
3. VALENCIA	0° - 23' W	39° - 29' N	11 m.	1961-1990
4. CASTELLON (Almanzora)	0° - 4' W	39° - 57' N	35 m.	1978-1990

#### OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

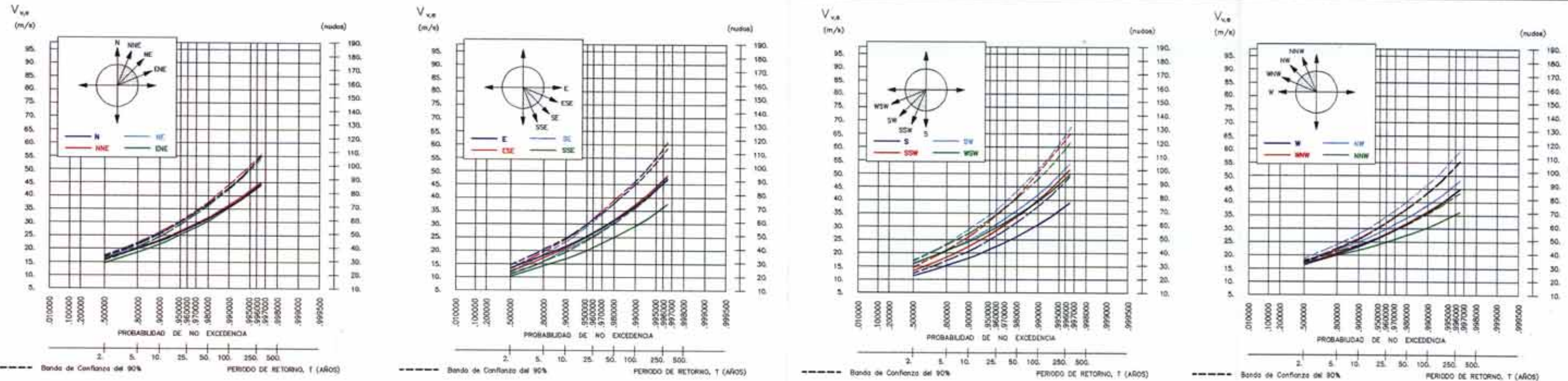
CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
37.8° N - 40.5° N 1.0° W - 2.0° E	1900 - 1984

### AREA - VII

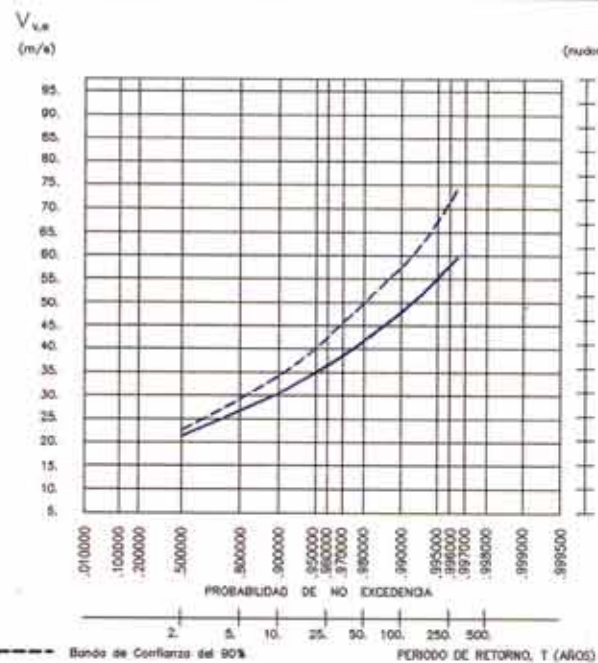
#### CARACTERIZACION EXTREMAL



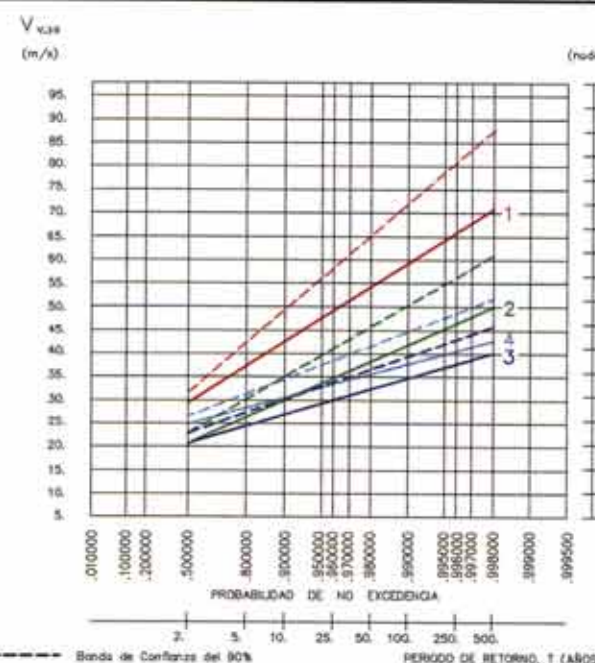
### B1.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES EXTREMALES DIRECCIONALES



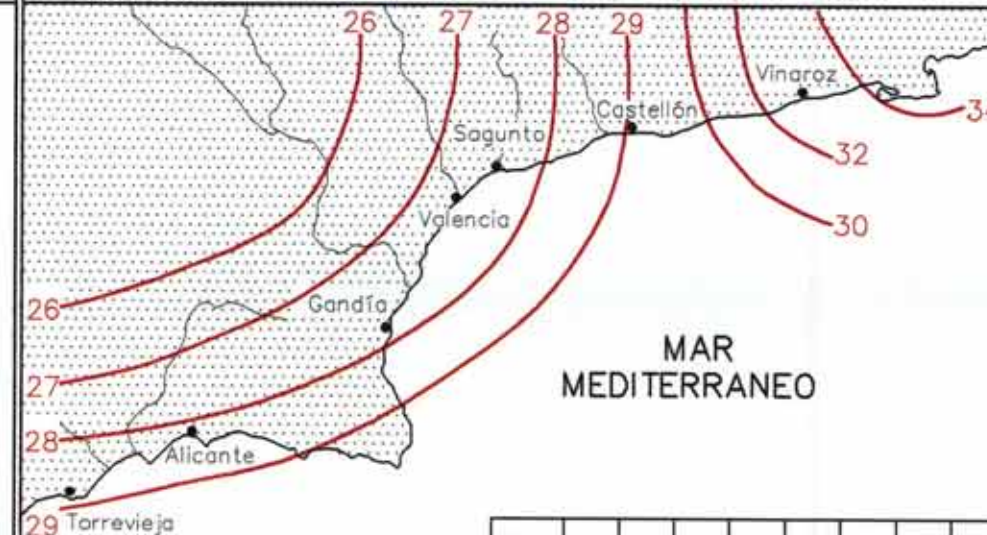
### B2.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMEN EXTREMAL ESCALAR



### B3.- REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



### B4.- VELOCIDAD BASICA, Vb, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS, RECOMENDADA PARA PROYECTO [Vv,10min(10)](en m/s)

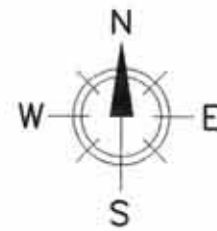
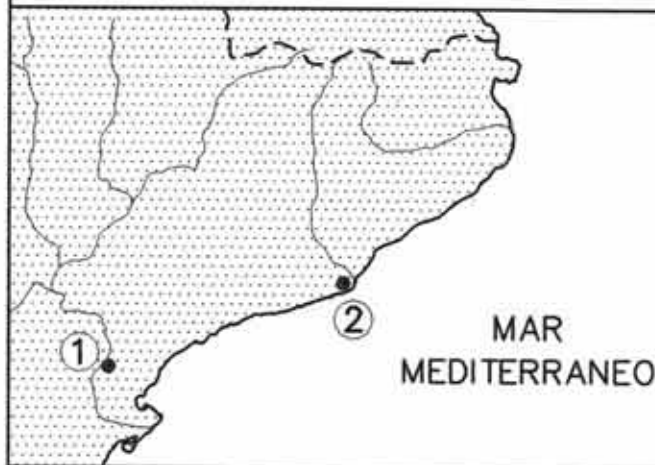


DIR	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
K <sub>α</sub>	0.80	0.80	0.80	0.75	0.80	0.80	0.80	0.65	0.70	0.90	0.90	0.85	0.80	0.80	0.85	0.75

ROM 0.4-95. ACCIONES MEDIOAMBIENTALES II: VIENTO  
ATLAS DE VIENTO DEL LITORAL ESPAÑOL



LOCALIZACION DE LA INFORMACION OBTENIDA EN ESTACIONES COSTERAS



- 1. TORTOSA
- 2. BARCELONA (Aeropuerto)

INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

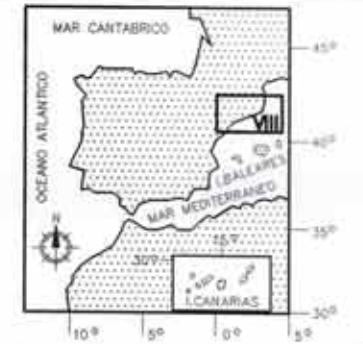
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. TORTOSA	0° - 30' E	40° - 29' N	50 m.	1975-1990
2. BARCELONA (Aerop.)	2° - 5' E	41° - 18' N	6 m.	1969-1989

OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

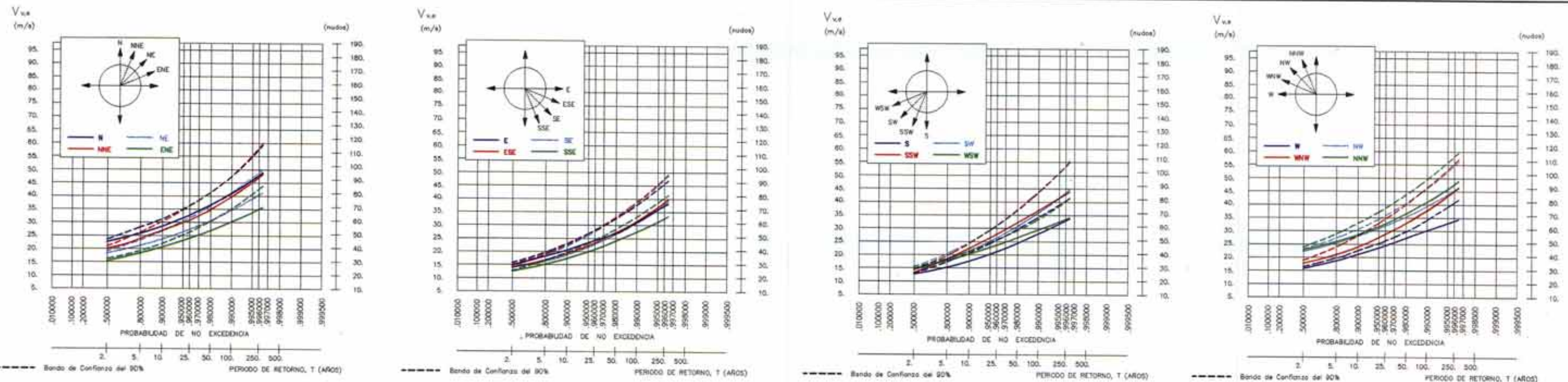
CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
40.5° N - 42.5° N 0.0° - 4.5° E	1900 - 1979

AREA - VIII

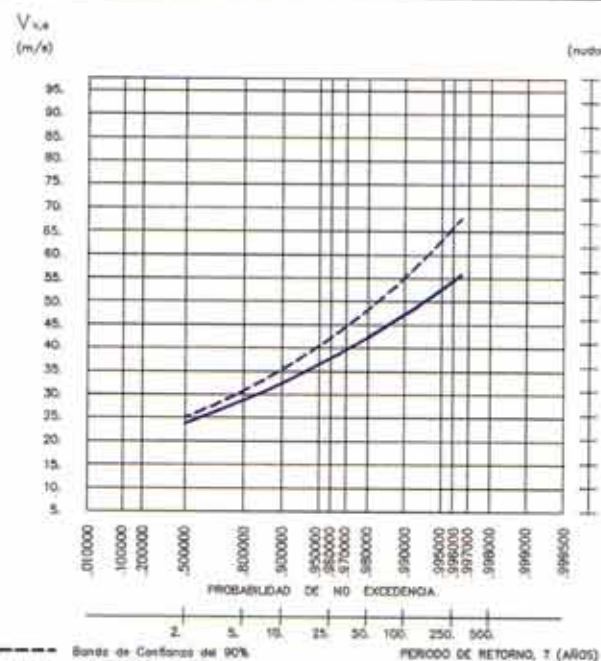
CARACTERIZACION EXTREMAL



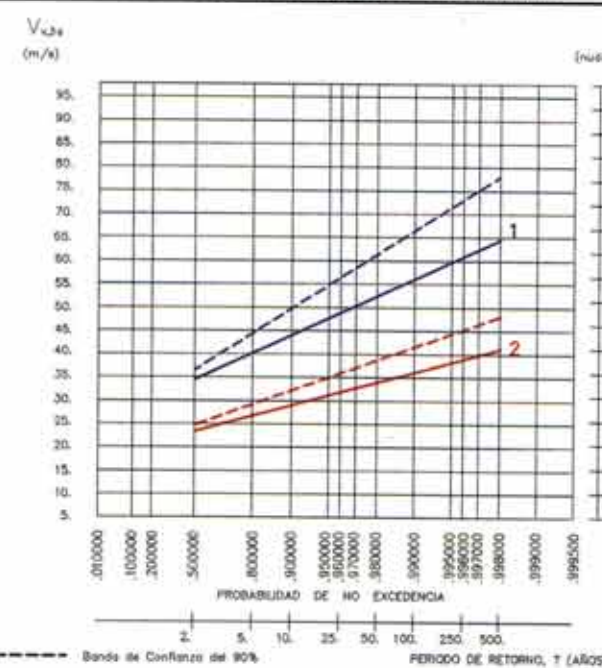
B1.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES EXTREMALES DIRECCIONALES



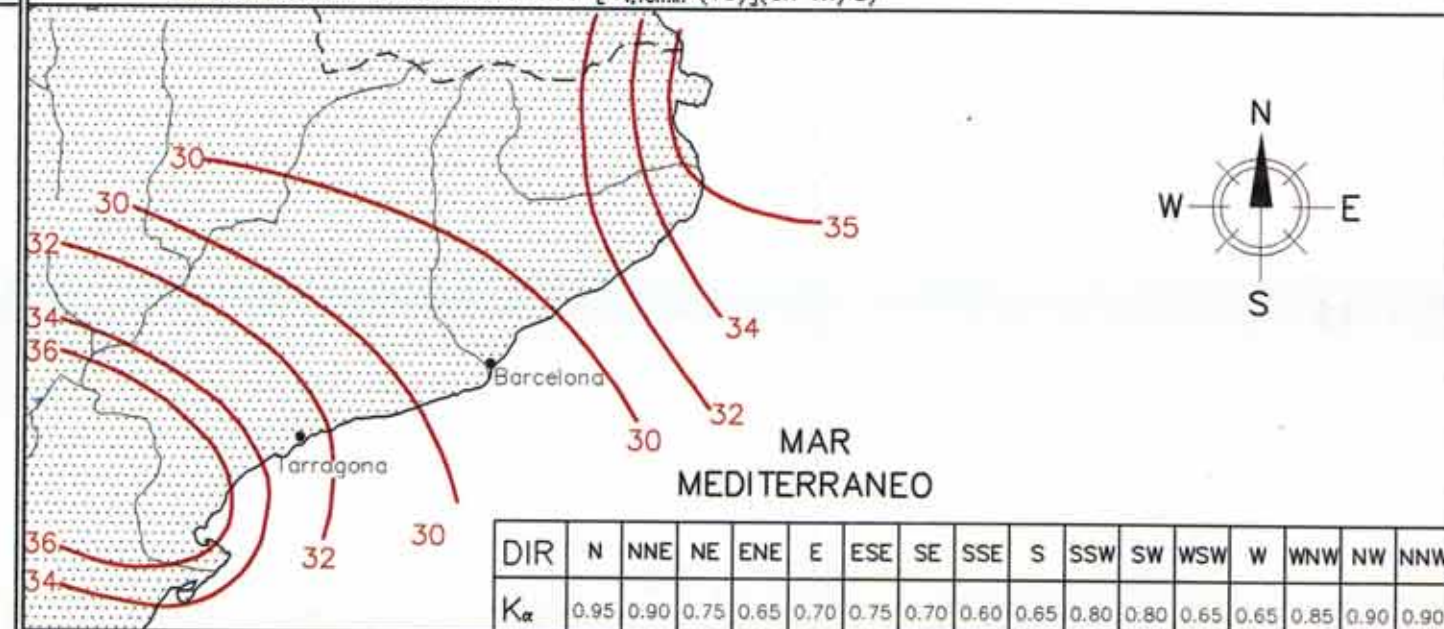
B2.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMEN EXTREMAL ESCALAR



B3.- REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



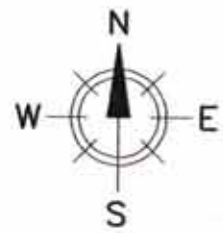
B4.- VELOCIDAD BASICA, V<sub>b</sub>, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS, RECOMENDADA PARA PROYECTO [V<sub>v,10min</sub>(10)](en m/s)



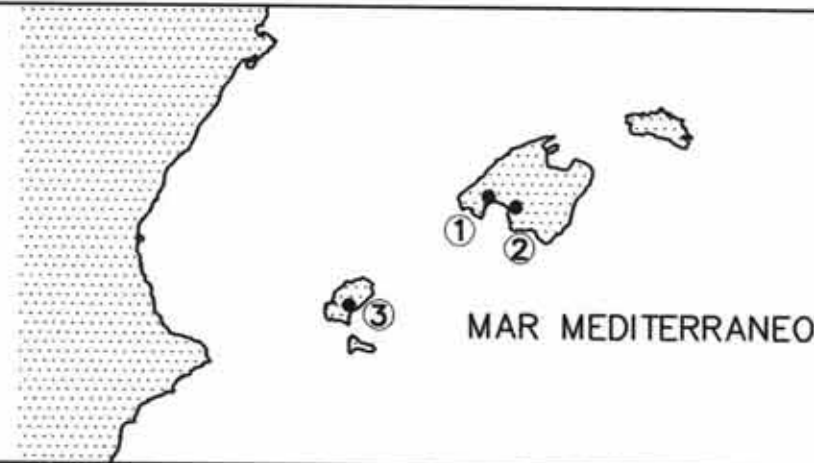
ROM 0.4-95. ACCIONES MEDIOAMBIENTALES II: VIENTO  
ATLAS DE VIENTO DEL LITORAL ESPAÑOL



# LOCALIZACION DE LA INFORMACION OBTENIDA EN ESTACIONES COSTERAS



1. PALMA (Observatorio)
2. PALMA (Aeropuerto)
3. IBIZA (Aeropuerto)



# INFORMACION ANALIZADA

## REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

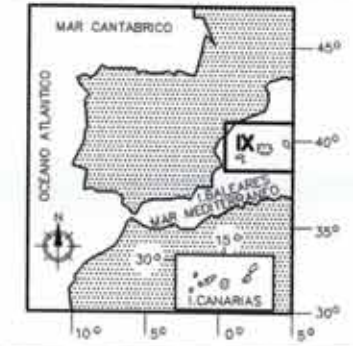
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. PALMA (Observatorio)	2° - 37' E	39° - 33' N	3 m.	1975-1990
2. PALMA (Aeropuerto)	2° - 44' E	39° - 33' N	4 m.	1975-1990
3. IBIZA (Aeropuerto)	1° - 23' E	38° - 52' N	11 m.	1969-1990

## OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

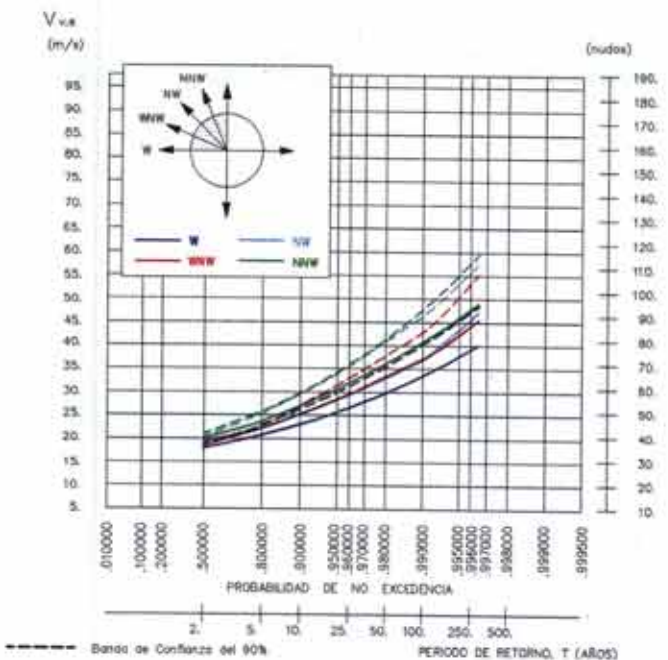
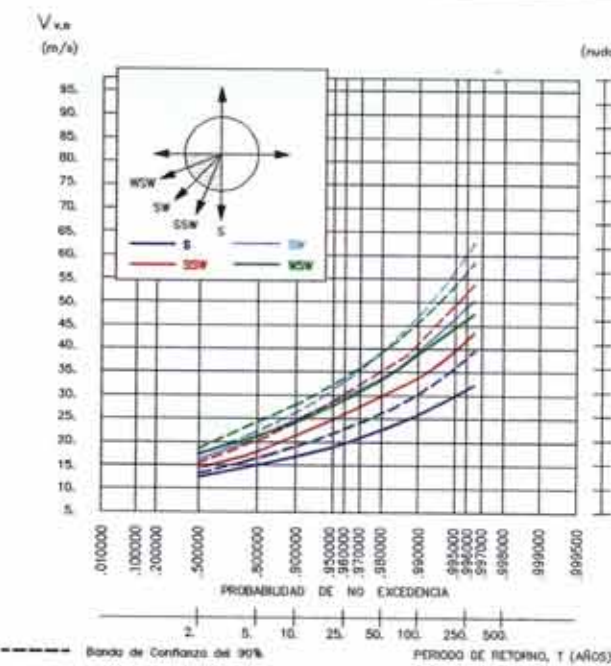
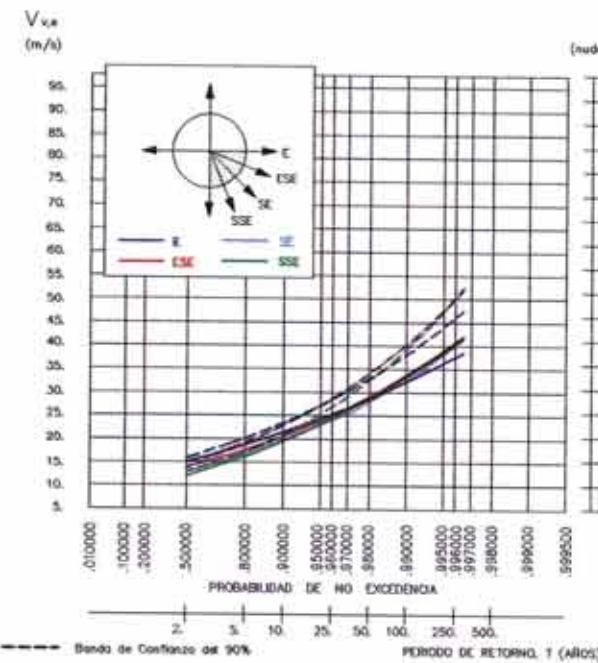
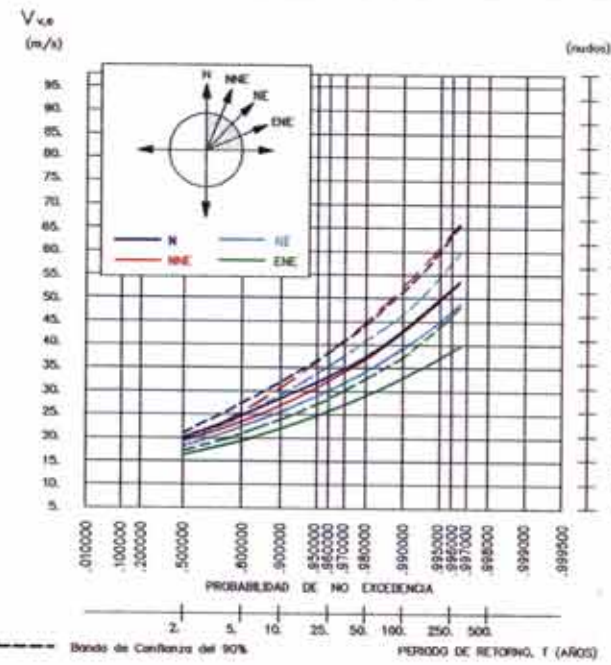
CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
38.3° N - 41.0° N 0.5° E - 5.5° E	1900 - 1980

# AREA - IX

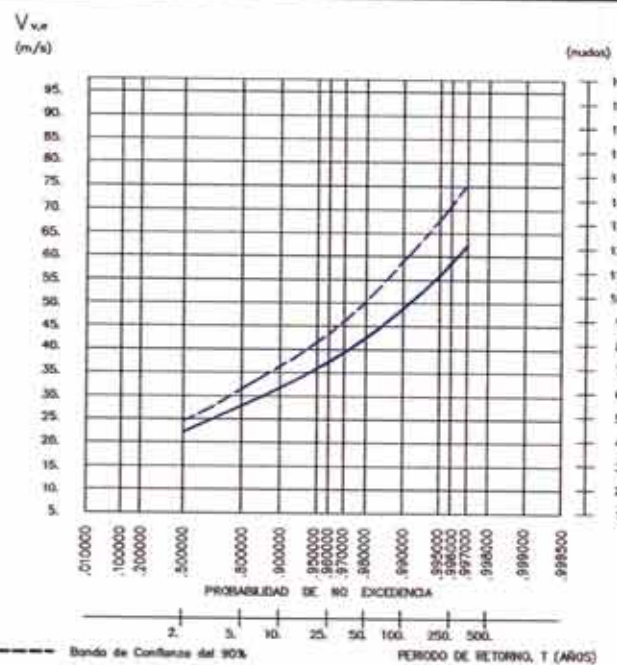
## CARACTERIZACION EXTREMAL



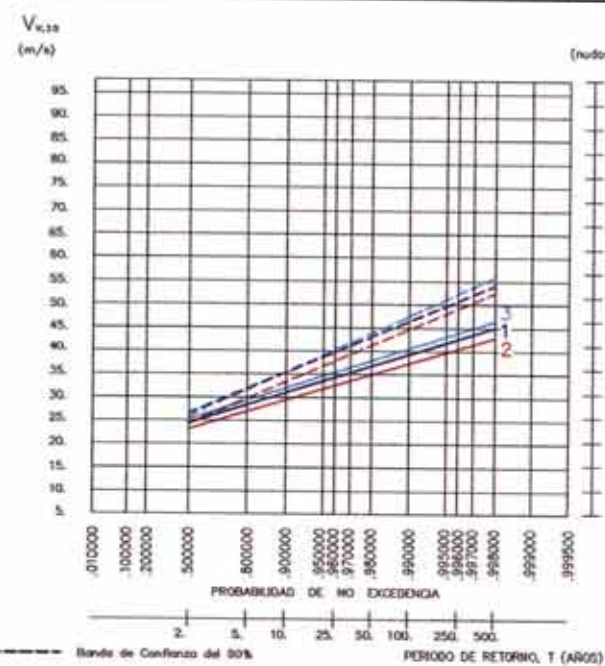
## B1.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES EXTREMOS DIRECCIONALES



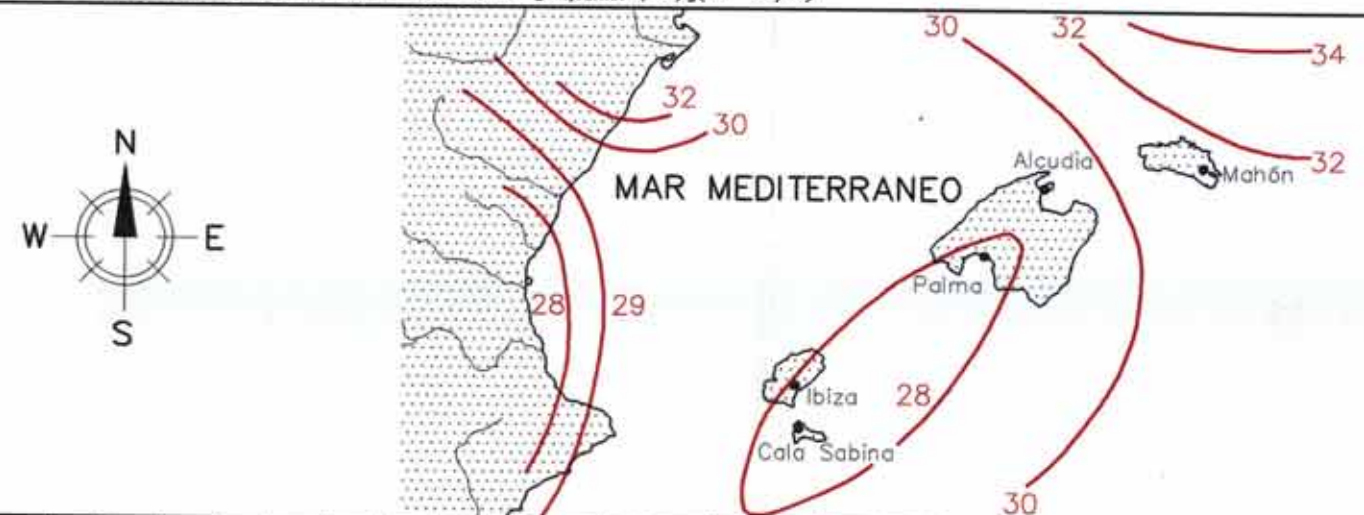
## B2.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMEN EXTREMAL ESCALAR



## B3.- REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES EXTREMOS ESCALARES



## B4.- VELOCIDAD BASICA, Vb, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS, RECOMENDADA PARA PROYECTO [Vv,10min(10)](en m/s)



DIR	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
K $\alpha$	0.90	0.90	0.85	0.70	0.65	0.70	0.70	0.70	0.60	0.75	0.85	0.80	0.75	0.80	0.85	0.85

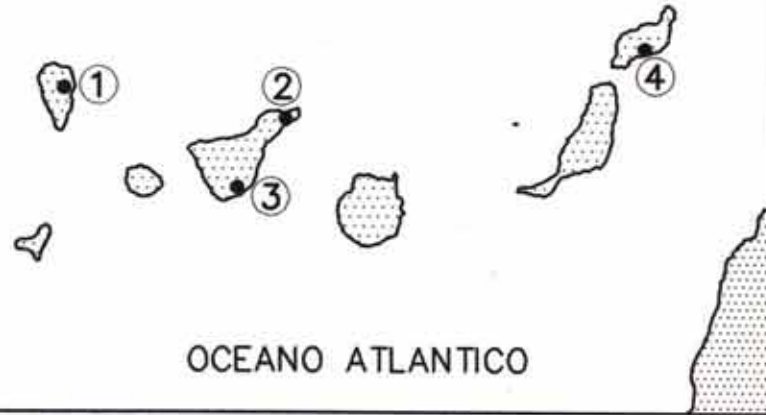
## ROM 0.4-95. ACCIONES MEDIOAMBIENTALES II: VIENTO ATLAS DE VIENTO DEL LITORAL ESPAÑOL



# LOCALIZACION DE LA INFORMACION OBTENIDA EN ESTACIONES COSTERAS



1. LA PALMA (Aeropuerto)
2. STA. CRUZ DE TENERIFE
3. APTO. REINA SOFIA
4. LANZAROTE (Aeropuerto)



# INFORMACION ANALIZADA

## REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS

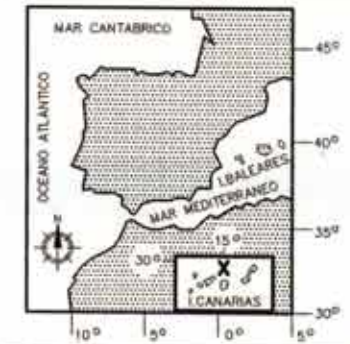
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. LA PALMA (Aeropuerto)	17° - 45' W	28° - 37' N	40 m.	1975-1990
2. STA. CRUZ DE TENERIFE	16° - 15' W	28° - 28' N	30 m.	1975-1990
3. APTO. REINA SOFIA	16° - 34' W	28° - 3' N	64 m.	1981-1990
4. LANZAROTE (Aeropuerto)	13° - 36' W	28° - 56' N	21 m.	1971-1990

## OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA

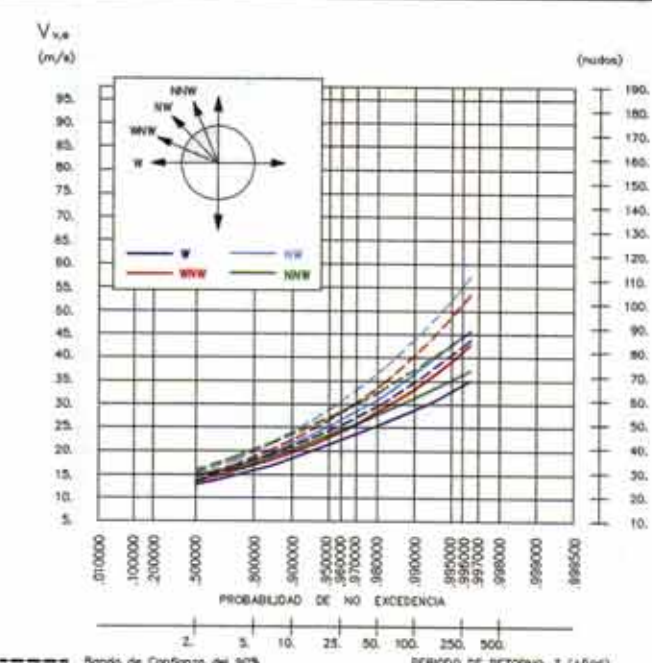
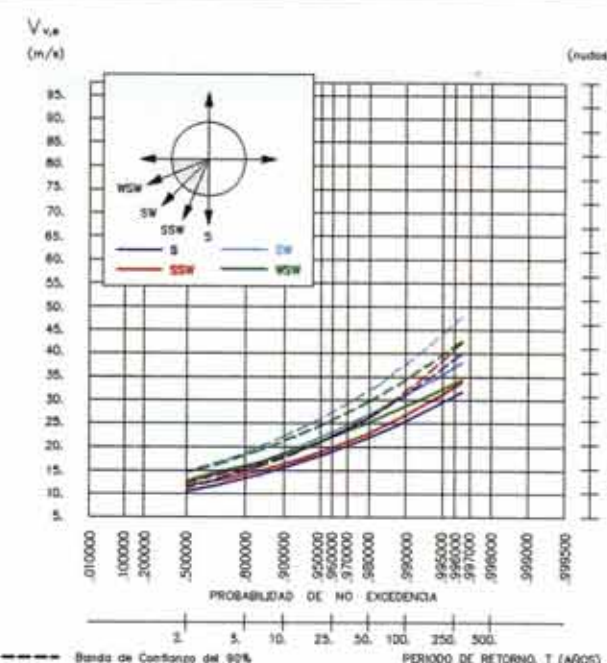
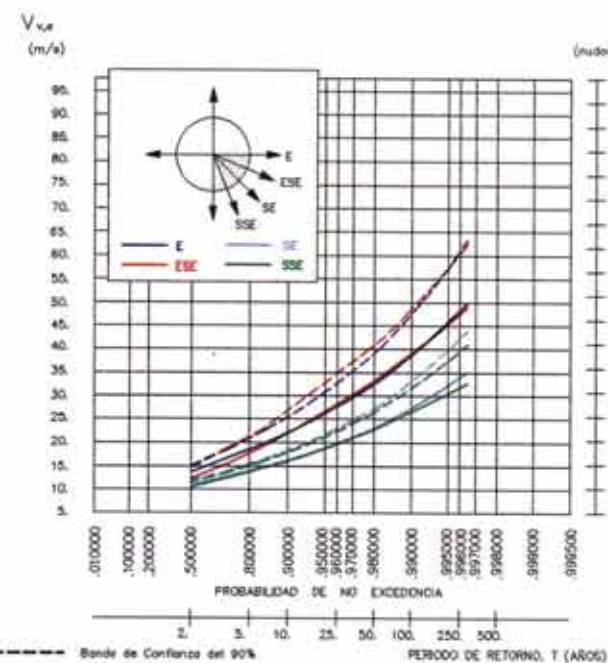
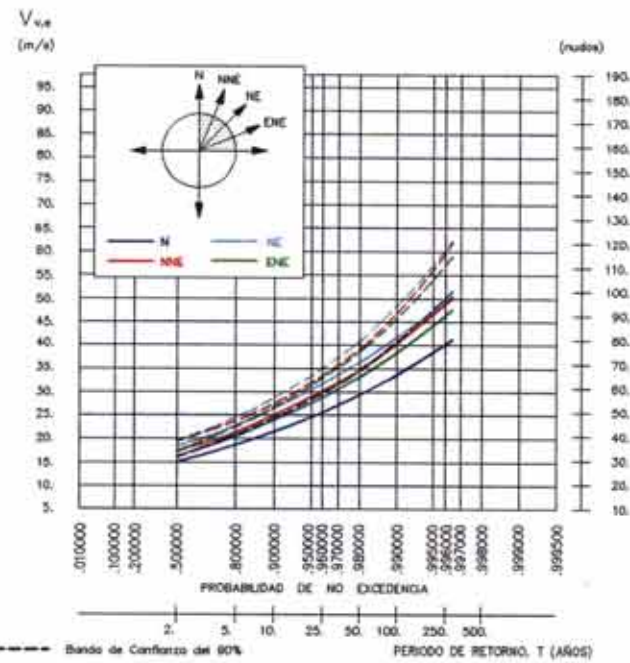
CUADRICULA	PERIODO DE MEDIDA
26.5 °N - 30.5 °N 12.0 °W - 20.0 °W	1900 - 1977

# AREA - X

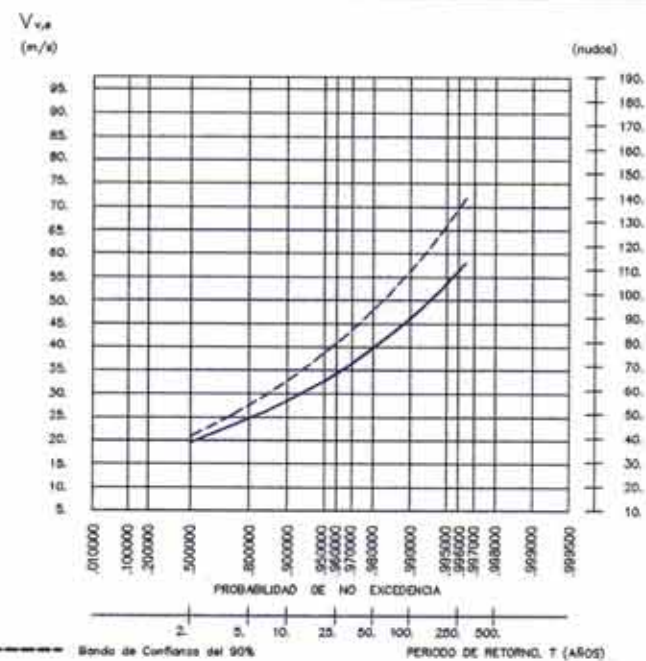
## CARACTERIZACION EXTREMAL



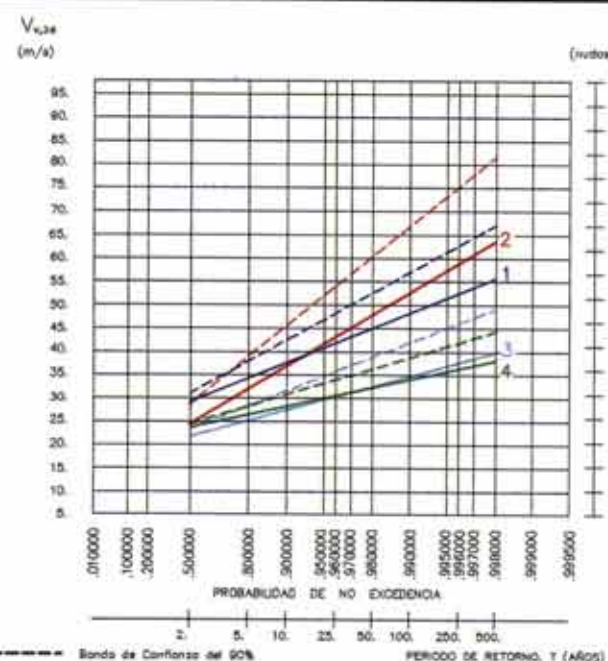
# B1.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMENES EXTREMALES DIRECCIONALES



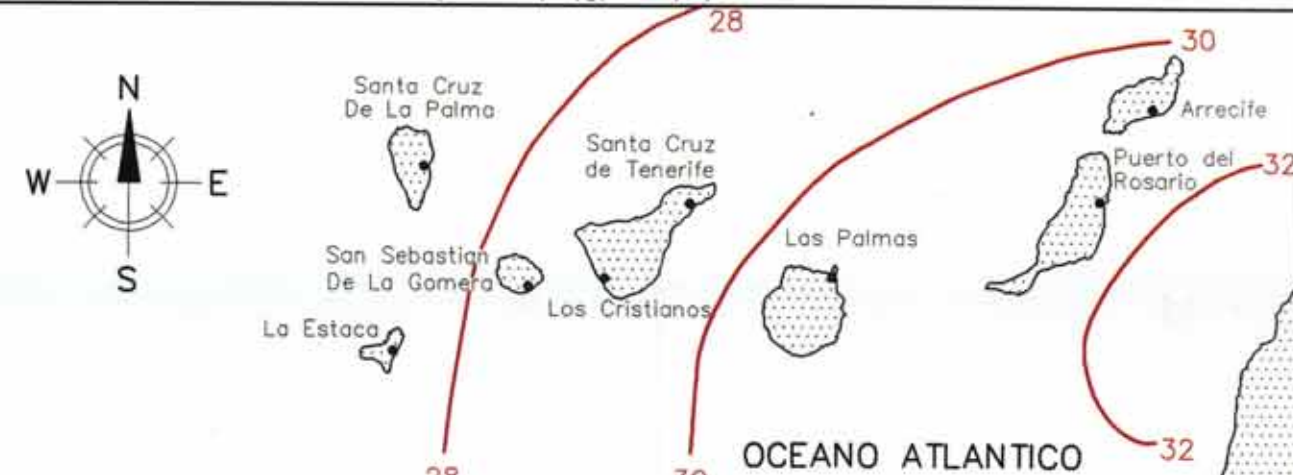
# B2.- OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA: REGIMEN EXTREMAL ESCALAR



# B3.- REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



# B4.- VELOCIDAD BASICA, Vb, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS, RECOMENDADA PARA PROYECTO [Vv,10min(10)] en m/s



DIR	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
K <sub>α</sub>	0.75	0.90	0.90	0.85	0.90	0.90	0.65	0.60	0.60	0.60	0.70	0.65	0.65	0.75	0.80	0.70



## 1.7. DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DE PROYECTO A PARTIR DE LA CARACTERIZACION DEL VIENTO INCLUIDA EN ESTE ANEJO

Por medio del Atlas de Viento incluido en este Anejo es posible establecer la velocidad del viento de proyecto  $[V_{v,t}(z), \alpha]$  tanto para condiciones climáticas extremas como para condiciones normales de operación, en cualquier punto incluido en alguna de las áreas definidas en el litoral español. Asimismo por medio del Atlas podrán establecerse las características del viento (*velocidad, dirección y persistencia*) necesarias para, conjuntamente con las condiciones del fetch y por medio de modelos simplificados de previsión de oleaje<sup>84</sup>), estimar las características del oleaje local de viento (*Oleaje Sea:  $H_s, T_p, \bar{\alpha}$* ) de actuación simultánea compatible con el viento de proyecto.

### 1.7.1. VELOCIDAD DEL VIENTO DE PROYECTO EN CONDICIONES EXTREMAS

La determinación de la velocidad del viento de proyecto en condiciones climáticas extremas podrá realizarse a partir del mapa a estima de Velocidad Básica Escalar del Viento  $[V_{b,10 \text{ min}}(10)$  en Categoría I de rugosidad superficial] asociada a un periodo de retorno de 50 años ( $V_{b,50 \text{ años}}$ ). (CUADRO B4 del área en el que esté localizado geográficamente el punto analizado. En aquellos casos en que el punto analizado esté situado en una zona intermedia entre dos curvas podrá interpolarse linealmente).

La velocidad básica escalar correspondiente a otro periodo de retorno T, asociado a la probabilidad de presentación o riesgo considerado para la determinación de los valores representativos de la acción de viento ( $V_{b,T}$ ), podrá obtenerse por medio del coeficiente  $K_T$  definido en la fórmula [3.2.4] (Ver gráfica de la figura 3.2.1.4.1). Es decir:

$$V_{b,T} = V_{b,50 \text{ años}} \cdot K_T \quad [1.5.4]$$

Si queremos considerar la componente direccional del viento, la velocidad básica en una dirección  $\alpha$  asociada al periodo de retorno T podrá calcularse simplificada por medio del coeficiente de direccionalidad  $K_\alpha$ , definido en el apartado 1.5.6, correspondiente a dicha dirección en el área considerada. (CUADRO B4).

Por tanto la Velocidad Básica del Viento de proyecto, asociada a cualquier periodo de retorno y dirección  $\alpha$ , puede calcularse a través de la ecuación:

$$V_{b,T,\alpha} = V_{b,50 \text{ años}} \cdot K_T \cdot K_\alpha \quad [1.5.5]$$

A partir de la velocidad básica del viento de proyecto puede obtenerse la velocidad correspondiente a las condiciones específicas de proyecto (*rugosidad superficial, altura, topografía local y ráfaga considerados en el cálculo*) por medio de los factores de velocidad de viento F<sup>85</sup>):

$$V_{v,t}(z)|_{T,\alpha} = V_{b,T,\alpha} \cdot F_A \cdot F_T \cdot F_R \quad [1.5.6]$$

La metodología de determinación de la velocidad del viento de proyecto en condiciones climáticas extremas a partir del Atlas de Viento del Litoral Español se esquematiza en la figura 1.7.1.

### 1.7.2. VELOCIDAD DEL VIENTO DE PROYECTO EN CONDICIONES NORMALES DE OPERACION

La determinación de la velocidad del viento de proyecto en condiciones normales de operación, siempre que no esté previamente definida de forma determinista una velocidad del viento límite de operatividad para la situación y condiciones de explotación de la instalación o estructura analizada, se realiza fundamentalmente a partir de los regímenes medios escalares y direccionales de velocidad de viento estimada desde buques en ruta y de las frecuencias de presentación sectoriales en el área donde se localiza geográficamente el punto considerado (CUADROS A2 y A3), obteniéndose la velocidad de viento estimada ( $V_{ve}$ ) correspondiente al nivel de excedencia límite establecido en función de los criterios funcionales o de operatividad del proyecto.

(84) Por ejemplo el Método de Sverdrup-Munk-Bretsneider (SMB) y revisiones posteriores. Ver Anejo II de esta Recomendación: Método Simplificado Paramétrico de Previsión de Oleaje de Viento y ROM 0.3. Acciones Climáticas I: Oleaje.

(85) Ver Apartados 2.1.3. VELOCIDAD BASICA DEL VIENTO y 2.1.4. FACTORES DE VELOCIDAD DE VIENTO.

Dado que la fiabilidad de los regímenes medios de velocidad de viento estimada desde buques en ruta es sólo aproximada, éstos deben contrastarse con los regímenes medios escalares obtenidos a partir de registros en las estaciones costeras localizadas en el área analizada (CUADRO A5), tomando en consideración las características físicas locales de los puntos de medición. A falta de otros datos, y con objeto de facilitar el contraste de regímenes, puede admitirse simplíficadamente:

$$V_{v,e} \approx V_{v,1min}(10 m) \quad [1.5.7]$$

Por tanto, la Velocidad Básica del Viento de Proyecto en condiciones normales de operación, estimada a partir de los regímenes medios incluidos en este Anejo, será:

$$\begin{aligned} V_{bl} / \text{condiciones normales de operación} &= V_{v,e} / \text{nivel de excedencia límite} / 1.31 \approx \\ &\approx V_{v,1min} / \text{nivel de excedencia límite} (10 m) / 1.31 \end{aligned} \quad [1.5.8]$$

Como en el caso de condiciones climáticas extremas, a partir de la velocidad básica del viento de proyecto puede obtenerse la velocidad correspondientes a las condiciones específicas de proyecto por medio de los factores de velocidad de viento F.

La metodología de determinación de la velocidad del viento de proyecto en condiciones normales de operación a partir del Atlas de Viento del Litoral Español se esquematiza en la figura I.7.1.

### I.7.3. OLEAJE LOCAL DE VIENTO DE ACTUACION SIMULTANEA COMPATIBLE CON EL VIENTO DE PROYECTO

La determinación del oleaje local de viento (*generado en dársenas, rías, o en general en zonas confinadas o con fetch corto*) de actuación simultánea compatible con el viento de proyecto podrá realizarse a partir del Atlas de Viento por medio de la aplicación de modelos simplificados de previsión de oleaje Sea de validez reconocida para las condiciones físicas locales. (*Ver Anejo II de esta Recomendación*).

Para la estimación del oleaje local de viento de actuación simultánea compatible con el viento de proyecto en condiciones normales de operación en un punto determinado se tomarán como datos de partida los siguientes:

- La velocidad básica del viento de proyecto en condiciones normales de operación ( $V_{bl} / \text{condiciones normales de operación}$ ) (*Ver apartado I.7.2*) en la dirección analizada, considerando las condiciones topográficas locales y las condiciones de introducción de la velocidad de viento en el modelo de previsión de oleaje utilizado por medio de los factores de velocidad de viento F.
- La duración media de las excedencias de dicho nivel de velocidad de viento en la zona (CUADRO A4. DURACION MEDIA DE LA PERSISTENCIA).<sup>(86)</sup>
- La longitud del fetch en la dirección considerada correspondiente al punto para el que se realiza la previsión.

En aquellas zonas en que estén disponibles datos de oleaje, no se tomará como oleaje compatible aquél con altura de ola menor que la obtenida, a partir de los regímenes medios de altura de ola de viento<sup>(87)</sup> y de la frecuencia de presentación en la dirección considerada, para el límite de excedencia establecido en las condiciones de operatividad del proyecto.

Para la estimación del oleaje local de viento de actuación simultánea compatible con el viento de proyecto en condiciones climáticas extremas en un punto determinado se tomarán como datos de partida los siguientes:

- La velocidad básica del viento de proyecto en condiciones extremas en la dirección analizada ( $V_{bl} / T_{\alpha}$ ) (*Ver apartado I.7.1*), considerando las condiciones topográficas locales y las condiciones de introducción de la velocidad de viento en el modelo de previsión de oleaje utilizado por medio de los factores de velocidad de viento F.

(86) Como el valor de las ordenadas en el gráfico de Duración Media de la Persistencia del CUADRO A4 viene dado en el parámetro  $V_{v,e}$ , se recuerda que simplíficadamente puede admitirse la relación  $V_{v,e} = 1.31 \cdot V_b$ .

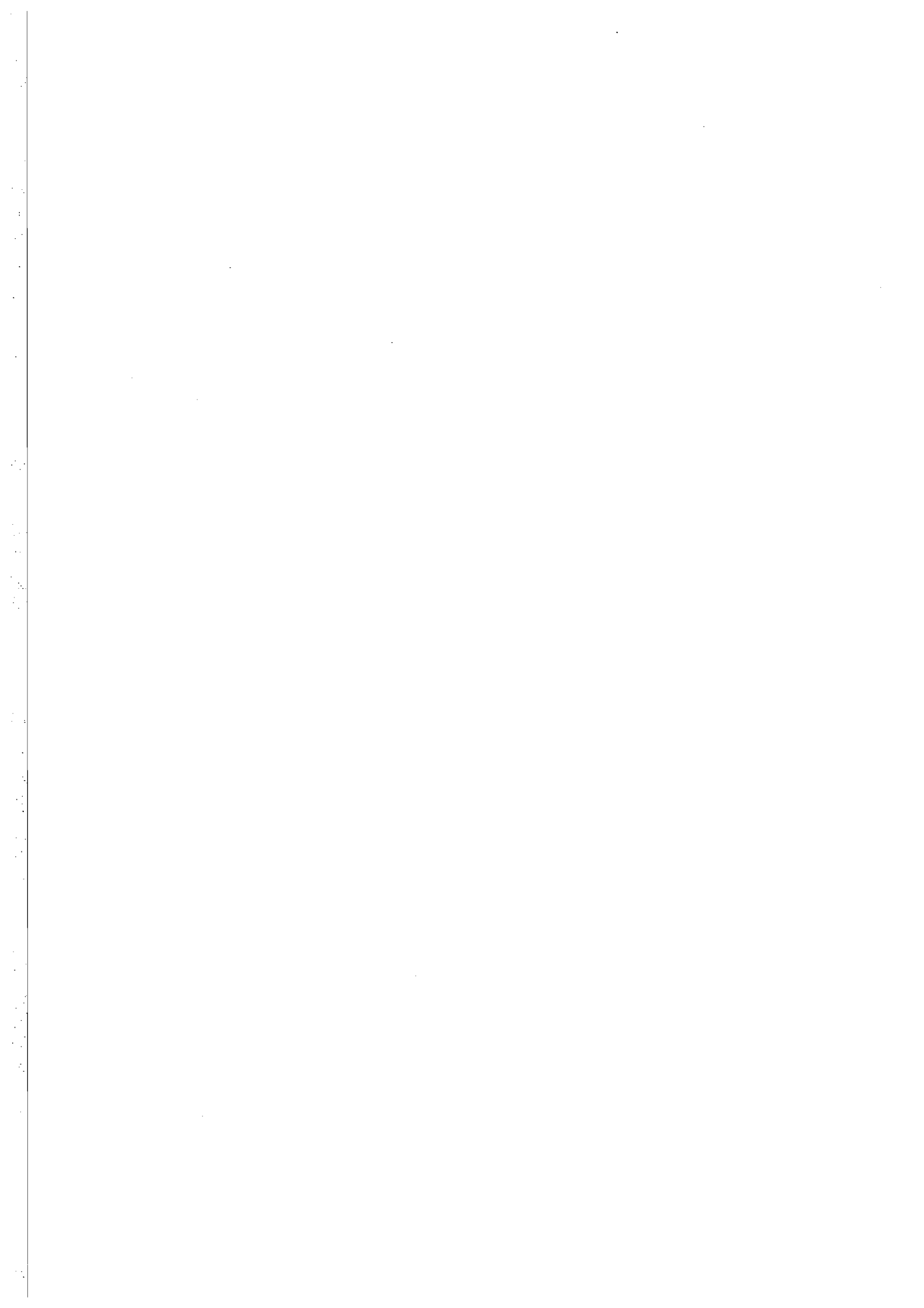
(87) Regímenes de altura de ola visual o registrada correspondiente a oleaje Sea.

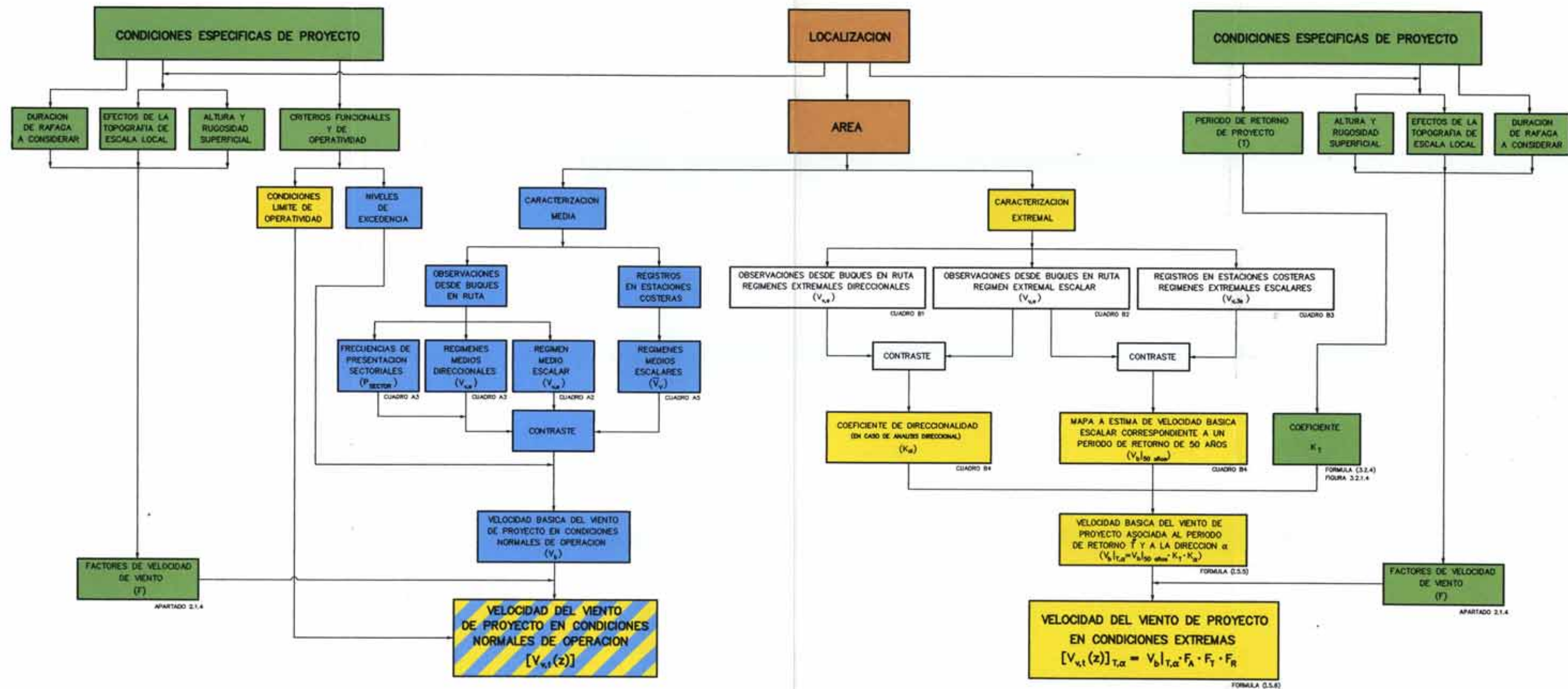
- La duración media de las excedencias de dicho nivel de velocidad de viento en el área en el que esté localizado geográficamente el punto analizado (*CUADRO A4. DURACION MEDIA DE LA PERSISTENCIA*).<sup>(86)</sup>
- La longitud del fetch en la dirección considerada correspondiente al punto para el que se realiza la previsión.

En aquellas zonas en que estén disponibles datos de oleaje, no se tomará como oleaje compatible aquél con altura de ola menor que la asociada a un periodo de retorno de T/4, siendo T el periodo de retorno del viento de proyecto en condiciones climáticas extremas.<sup>(88)</sup>

---

(88) Este valor es el que está asociado al valor de combinación de la acción del oleaje al considerarse la carga de viento la acción de efecto predominante. (*Ver ROM 0.2-90 y apartado 3.2.1.4. VALORES REPRESENTATIVOS DE LA ACCION de la presente Recomendación*). Se obtendrá principalmente a partir del régimen extremal de altura de ola registrada.





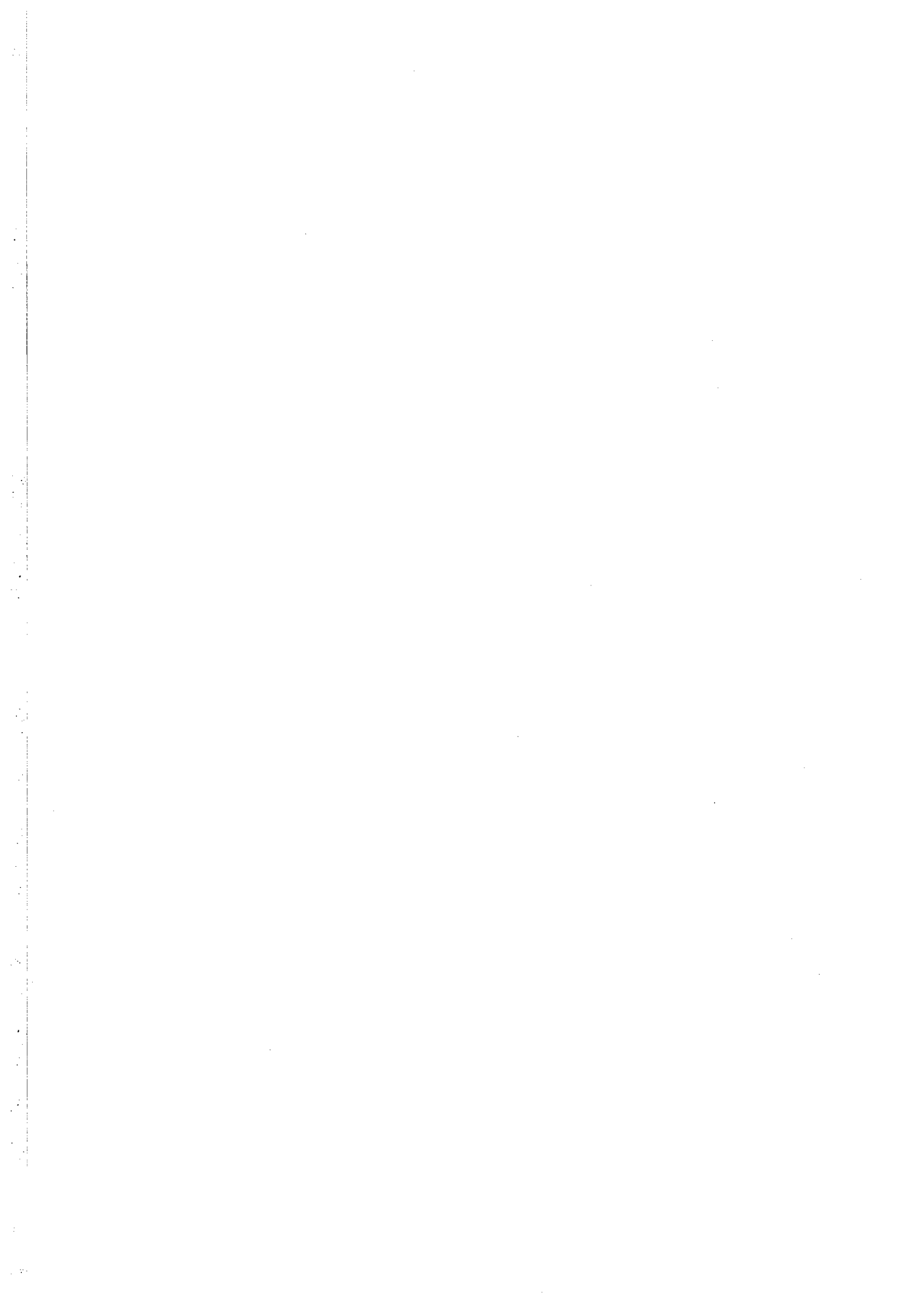
ROM 0.4-95. FIGURA I.7.1 METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DE PROYECTO A PARTIR DEL ATLAS DE VIENTO DEL LITORAL ESPAÑOL



**METODO SIMPLIFICADO  
PARAMETRICO DE  
PREVISION DE OLAJE  
DE VIENTO**

**ANEJO II**

---

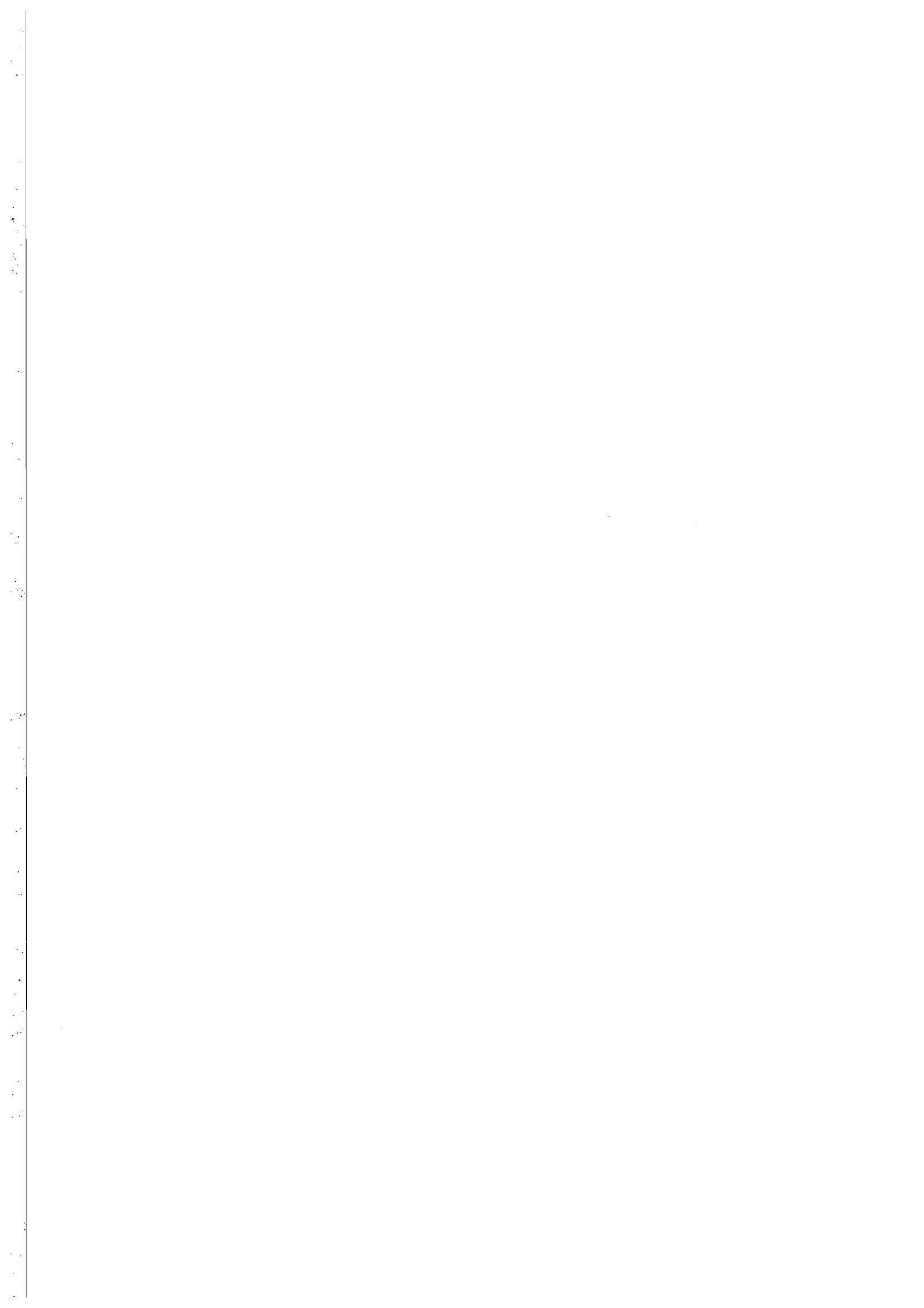


**METODO SIMPLIFICADO PARAMETRICO  
ANEJO II DE PREVISION DE OLEAJE DE VIENTO**

---

**Indice**

II.1. INTRODUCCION .....	241
II.2. DATOS DE PARTIDA .....	242
II.2.1. LONGITUD DEL FETCH .....	242
II.2.2. CARACTERISTICAS DEL VIENTO GENERADOR.....	243
II.2.3. PROFUNDIDAD DEL AGUA .....	243
II.3. PREVISION DEL OLEAJE DE VIENTO EN AGUAS PROFUNDAS .....	244
II.4. PREVISION DEL OLEAJE DE VIENTO EN PROFUNDIDADES REDUCIDAS .....	246



---

II.2.1.1.	Procedimiento para el cálculo de la longitud del fetch en zonas costeras o interiores irregulares .....	242
-----------	--	-----





## **ANEJO II**

## **TABLAS**

### **Indice**

II.3.1.	Abaco para la previsión del oleaje de viento en aguas profundas ( <i>Método SPM/1984</i> ) .....	245
II.4.1.	Abacos para la previsión del oleaje de viento en profundidades reducidas ( $\leq 15 m$ ) de profundidad constante ( <i>Método SPM/1984</i> ) .....	247



## ANEJO II METODO SIMPLIFICADO PARAMETRICO DE PREVISION DE OLAJE DE VIENTO

### II.1. INTRODUCCION

Los métodos y modelos teórico-empíricos de previsión de oleaje a partir de datos de viento están en el origen de la tecnología de análisis, caracterización y previsión del oleaje asociado a unas condiciones climáticas determinadas. Estos métodos constituyen aún en la actualidad una herramienta de extraordinario interés para caracterizar el oleaje en zonas donde no existe ningún tipo de información sobre el mismo; así como para estimar el oleaje local de dársenas, rías y, en general, de zonas confinadas donde el oleaje es fundamentalmente generado por la acción de vientos de carácter local. A su vez, estos métodos son muy útiles para completar y contrastar la información instrumental y visual de oleaje disponible.

La aproximación puramente determinista debida a Iribarren, empleada en la práctica hasta finales de la década de los 60, donde las variables altura de ola, periodo, y longitud de onda son función únicamente del fetch <sup>89)</sup>, representa una de las primeras modelizaciones o aproximaciones teóricas a la previsión del oleaje. Desde entonces, otros métodos o modelos de previsión de oleaje más realistas han sido desarrollados a partir de un mejor conocimiento de los mecanismos de generación del oleaje por la acción del viento, y de desarrollo y atenuación del mismo; así como por los grandes avances en la informática.

Los métodos de previsión de oleaje a partir de datos de viento se pueden clasificar en métodos o modelos numéricos y en métodos simplificados paramétricos.

Los inconvenientes principales de los métodos numéricos son el elevado coste que supone su aplicación y la necesidad de disponer como información de partida de datos de viento fiables en forma de cartas meteorológicas de superficie. Además, el reciente desarrollo de estos modelos hace imprescindible contrastar los resultados obtenidos con algún tipo de medida instrumental con el objeto de calibrar el modelo para la zona de aplicación, lo que supone una limitación adicional. Por el contrario, si la información de partida es fiable y el modelo ha sido correctamente calibrado, los resultados obtenidos son más realistas que los estimados a partir de los métodos simplificados al tomar en consideración todos los fenómenos que intervienen en la evolución de los campos de oleaje en superficie en el espacio y en el tiempo. Los modelos numéricos suelen permitir la previsión tanto de oleajes de viento (*Sea*) como de oleajes de fondo (*Swell*), así como de oleajes compuestos *Sea+Swell*.

Los métodos simplificados de previsión de oleaje pueden utilizarse cuando ni el tiempo disponible ni la magnitud del proyecto o la incidencia del oleaje en el mismo justifiquen el uso de complejos métodos numéricos potencialmente mucho más precisos. Estos métodos suelen permitir únicamente la estimación aproximada de oleajes de viento (*Sea*) sin tener en cuenta la posibilidad de un oleaje de fondo (*Swell*) con otro origen propagándose simultáneamente en el interior del área de generación, ni su evolución fuera de la misma. Los resultados obtenidos mediante la aplicación de estos métodos son más fiables en los casos de alta velocidad del viento y fetch corto (*hasta 120 km aproximadamente*) y de geometría simple, en los cuales puede asumirse que el viento se mantiene con intensidad y dirección relativamente constantes a lo largo de toda la longitud del fetch durante un tiempo determinado. La precisión de estos métodos está limitada fundamentalmente por la inexistencia en la realidad de campos de vientos totalmente homogéneos y estacionarios, y por la propia simplicidad de los mismos.

Los métodos simplificados de previsión de oleaje de viento precisan la previa estimación de las condiciones del campo de viento generador y de las características espaciales del área de generación (*fetch*), definidos por los siguientes parámetros característicos:

(89)  $H=1.2(L_F)^{1/4}$ ;  $T=(62 \cdot \pi/g)^{1/2} \cdot (L_F)^{1/6}$ ;  $L=31 \cdot (L_F)^{1/3}$ , para H y L en m,  $L_F$  en km, T en s y  $g=9.8$  m/s<sup>2</sup>. Para la definición de la longitud del fetch ( $L_F$ ) ver apartado II.2.1.

- Longitud del fetch.
- Velocidad del viento.
- Dirección del viento.
- Duración del viento.
- Profundidad del agua.

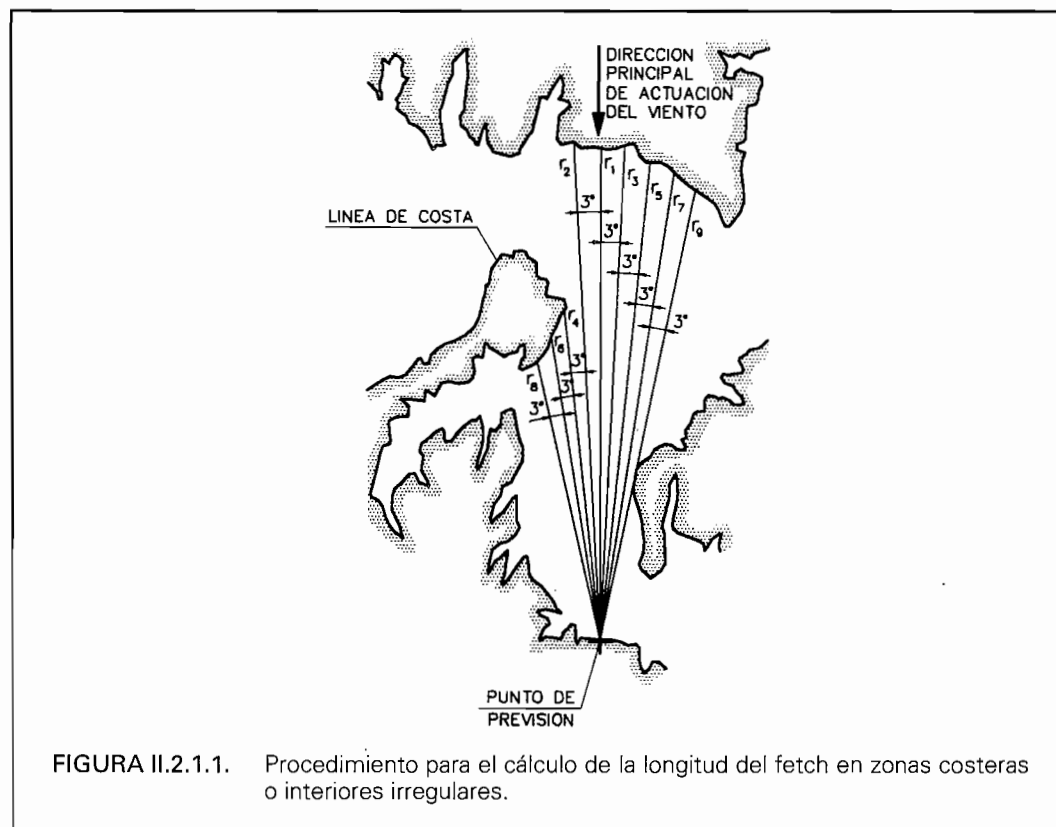
## II.2. DATOS DE PARTIDA

### II.2.1. LONGITUD DEL FETCH

En principio se denominará fetch asociado a un punto de previsión a la superficie de agua en la que actúa un viento homogéneo y estacionario, generador de un oleaje capaz de propagarse hasta el punto de previsión considerado. Por extensión se denomina fetch a la superficie de agua donde actúa viento capaz de generar oleaje.

No obstante, el término fetch se usa simplificado para definir la longitud del área de generación en la dirección del viento ( $L_F$ ), lo cual es correcto en áreas oceánicas donde el efecto de la anchura del fetch en la generación y desarrollo del oleaje es despreciable al ser del mismo orden de magnitud que la longitud correspondiente. Por el contrario, en aguas costeras o interiores (*dársenas, bahías, rías, estuarios, embalses,...*) la anchura suele estar limitada, pudiendo esta circunstancia tener influencia en el mecanismo de generación del oleaje. Para tener en cuenta este efecto algunos modelos de previsión recomiendan sustituir en los cálculos la longitud del fetch ( $L_F$ ) por una longitud del fetch efectiva ( $L_{F,efec}$ ), equivalente a la longitud del fetch no limitado que produce los mismos efectos en el punto de previsión <sup>(90)</sup>.

En zonas costeras o interiores irregulares, la longitud del fetch ( $L_F$ ) puede estimarse mediante el siguiente procedimiento: se trazarán, con origen en el punto de previsión y final en la primera intersección con la línea de costa, nueve rectas radiales a intervalos de 3



(90) P.e Abaco de Saville, 1954 para superficies de generación aproximadamente rectangulares. Para más comentarios al respecto ver ROM 0.3. Oleaje.



grados a partir de la dirección media de actuación del viento generador y a ambos lados de la misma. La longitud del fetch ( $L_F$ ) será la media aritmética de la longitud de las citadas rectas radiales (Ver figura II.2.1.1). Es decir:

$$L_F = \frac{\sum_1^9 r_i}{9} \quad \text{III.2.1}$$

Puede utilizarse cualquier otro intervalo angular entre rectas radiales siempre que sea pequeño.

## II.2.2. CARACTERISTICAS DEL VIENTO GENERADOR

El/los Estado/s de Viento generador/es queda/n definidos por los parámetros velocidad, dirección y duración.

La velocidad del viento que se utiliza generalmente como dato de partida en los métodos simplificados de previsión de oleaje es la velocidad media del viento en un intervalo de medición de 10 minutos, correspondiente a 10 metros de altura sobre la superficie en mar abierto (*Categoría I de rugosidad superficial*). Dicha velocidad coincide con el parámetro Velocidad Básica del Viento, salvo en aquellos casos en los que las condiciones topográficas locales tengan influencia en el perfil de velocidades medias (*p.e. rías o estuarios muy encajonados*). En estos casos la velocidad media a considerar será la Velocidad Básica del Viento multiplicada por el correspondiente factor topográfico  $F_T$  (Ver apartado 2.1.3). Es decir:

$$\overline{V_v(10)}_I = V_{v,10min(10)}_I = V_b \quad \text{III.2.2}$$

o en caso necesario:

$$V_b \cdot F_T \quad \text{III.2.3}$$

Si el parámetro de velocidad de viento del que se dispone como representativo del Estado/s de Viento generador/es se corresponde con la velocidad de ráfaga máxima asociada a un intervalo de medición  $t$  o con la velocidad media en otras condiciones de altura o rugosidad superficial, podrá obtenerse el parámetro de partida  $V_{v,10min(10)}_I$  por medio de los factores de velocidad de viento  $F$  (Ver apartado 2.1.3).

La definición de la duración asignada a los Estados de Viento generadores de oleaje, o duración de la persistencia de la velocidad media del viento adoptada como dato de partida por encima de dicho nivel, es muy importante para la estimación de los oleajes generados. Así, para una velocidad de viento y longitud del fetch determinados, el oleaje de viento irá incrementando su altura de ola y periodo con la duración hasta alcanzar una situación de equilibrio. En el límite ( $L_F \geq L_{Flim}$ ), y para cada velocidad de viento, a esta situación se le denomina Oleaje Sea totalmente desarrollado. Desde estas situaciones, aumentos en la duración del viento no darán lugar a aumentos de la altura de ola o el periodo.

Es muy importante, por tanto, el binomio velocidad media del viento/duración ya que la adopción de velocidades medias menores asociadas a mayores persistencias puede dar lugar a oleajes mayores.

## II.2.3. PROFUNDIDAD DEL AGUA

En profundidades de agua superiores a aproximadamente 90 metros los mecanismos de generación de oleaje no están sustancialmente afectados por las variaciones de profundidad, ni por las transformaciones del oleaje asociadas a fenómenos como la fricción de fondo, la percolación, el shoaling, la refracción o la rotura<sup>91)</sup>.

Para idénticas características de longitud del fetch y del viento, el oleaje de viento generado en aguas de profundidades reducidas o intermedias presentará menor altura de ola y más corto periodo que aquél generado en aguas profundas. En cualquier caso, en profundidades reducidas los mecanismos de generación de oleaje suelen tener menor importancia que los efectos asociados a las transformaciones de oleaje en dichas aguas por refracción, difracción, rotura, etc.

(91) Para conocer más detalles sobre estos fenómenos ver ROM 0.3. Oleaje.

### II.3. PREVISION DEL OLEAJE DE VIENTO EN AGUAS PROFUNDAS

Uno de los más simples, y ampliamente utilizado método simplificado paramétrico de previsión de oleaje de viento, es el denominado SMB, desarrollado en 1947 por Sverdrup y Munk, y modificado por Bretschneider (1952, 1958). Dicho método fue posteriormente revisado por Mitsuyasu (1968), y últimamente por Hasselman (1973), dando lugar al método denominado SPM (*Shore Protection Manual/1984*).

El método SPM permite obtener las variables características del oleaje [*Altura de ola significativa ( $H_s$ ) y periodo de pico ( $T_p$ )*] en función de las características del viento y del área de generación por medio de la formulación [II.3.1] a [II.3.8], considerando que las características de los oleajes de viento están limitadas por:

- *La Longitud del Fetch*: El viento actúa durante el tiempo mínimo ( $t_{min}$ ) para permitir que la altura de ola y el periodo alcancen una situación de equilibrio en el extremo del fetch, no siendo afectadas por duraciones superiores del mismo. En el límite ( $L_F \geq L_{F,lim}$ ), para una velocidad de viento dada, las características del oleaje no superarán las condiciones máximas denominadas Oleaje de Viento Totalmente Desarrollado.
- *La Duración del Viento*: Las características del oleaje generado dependen de la duración del viento si ésta es menor que la mínima necesaria para que se alcance el equilibrio en el extremo del fetch.

En el caso de oleajes limitados por la longitud del fetch ( $t > t_{min}$ ), las características del oleaje de viento generado se obtienen mediante la formulación siguiente <sup>92), 93)</sup>:

$$H_s = 5.112 \cdot 10^{-4} \cdot U_A \cdot (L_F)^{1/2} \quad \text{[II.3.1]}$$

$$T_p = 6.238 \cdot 10^{-2} \cdot (U_A \cdot L_F)^{1/3} \quad \text{[II.3.2]}$$

$$t_{min} = 3.215 \cdot 10 \cdot \left[ \frac{L_F^2}{U_A} \right]^{1/3} \quad \text{[II.3.3]}$$

siendo  $U_A = 0.71 \cdot [V_{v,10 \min}(10)]^{1.23}$  ( $U_A$  y  $V_v$  en m/s) la velocidad del viento corregida con objeto de tener en cuenta la relación no lineal entre la velocidad del viento y su capacidad de arrastre. A esta velocidad se le denominará a estos efectos como Velocidad Eficaz del Viento.

Dicha formulación tendrá validez hasta alcanzarse las condiciones de Oleaje Totalmente Desarrollado, definidas por las ecuaciones siguientes <sup>92), 93)</sup>:

$$H_s = 2.482 \cdot 10^{-2} \cdot (U_A)^2 \quad \text{[II.3.4]}$$

$$T_p = 8.30 \cdot 10^{-1} \cdot U_A \quad \text{[II.3.5]}$$

$$t_{min} = 7.296 \cdot 10^3 \cdot U_A \quad \text{[II.3.6]}$$

En el caso de oleajes limitados por la duración ( $t < t_{min}$ ), las características del oleaje de viento generado se obtienen mediante la formulación siguiente <sup>92), 93)</sup>:

$$H_s = 4.433 \cdot 10^{-5} \cdot (U_A)^2 \cdot (t/U_A)^{5/7} \quad \text{[II.3.7]}$$

$$T_p = 1.830 \cdot 10^{-2} \cdot U_A \cdot (t/U_A)^{0.411} \quad \text{[II.3.8]}$$

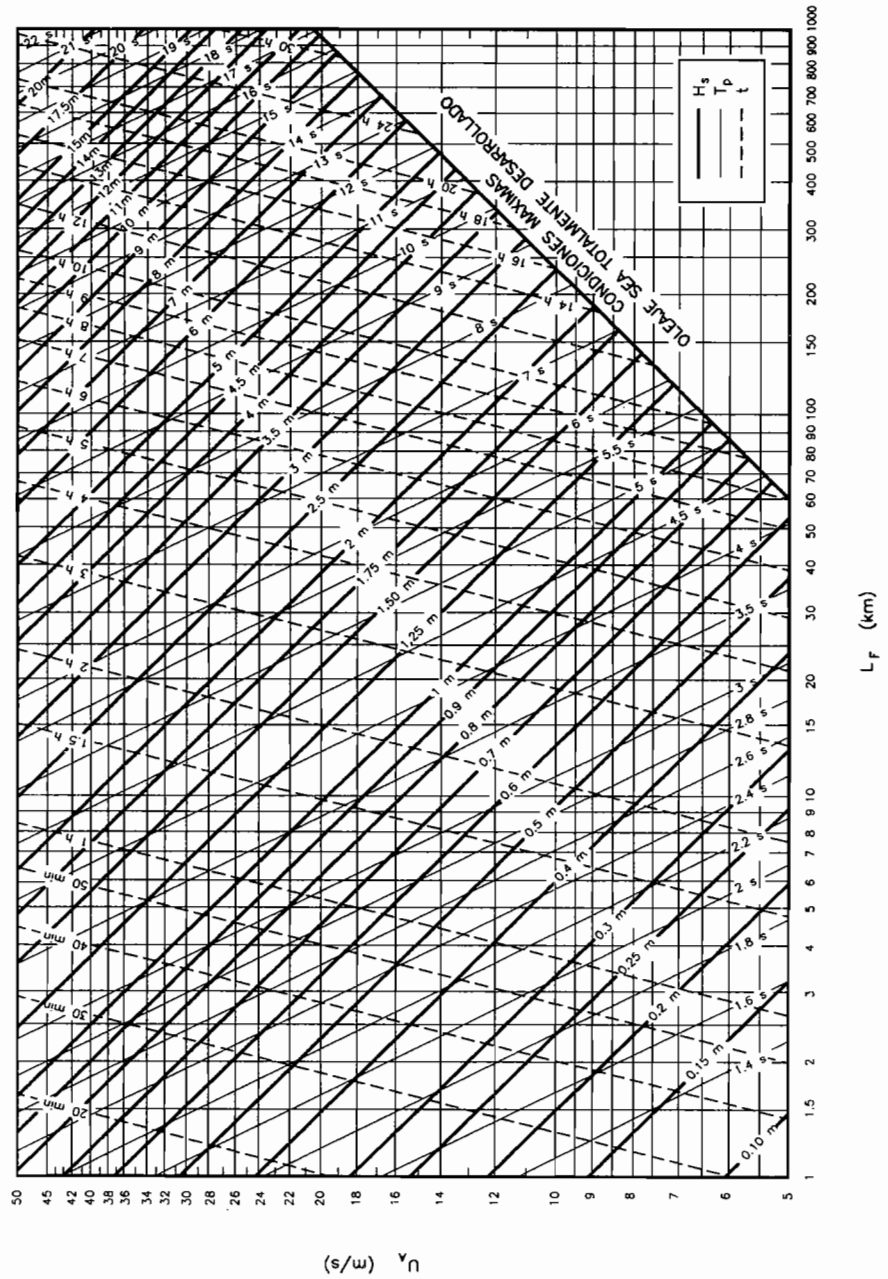
Para la aplicación práctica del método SPM/1984 en aguas profundas ( $\geq 90$  m) podrá utilizarse el ábaco de la tabla II.3.1., obtenido a partir de la formulación anteriormente expuesta. Este ábaco tiene en abscisas la longitud del fetch ( $L_F$ ) en km y en ordenadas la velocidad eficaz del viento ( $U_A$ ) en m/s, con isóneas de duración (t) en horas y minutos, altura de ola significativa ( $H_s$ ) en m y periodo de pico ( $T_p$ ) en s. A partir de este ábaco, las características del oleaje de viento generado podrán estimarse como los menores valores de altura de ola significativa y periodo de pico obtenidos a partir de las siguientes combinaciones:

- $U_A/t$  (limitación por la duración de actuación del viento).
- $U_A/L_F$  (limitación por la longitud del fetch).

(92) Las unidades en que se introducen los distintos parámetros que intervienen en las ecuaciones [II.3.1] a [II.3.8] son las siguientes:  $H_s$  y  $L_F$  en m;  $T_p$  y t en s;  $U_A$  en m/s.

(93) Este método se aplica introduciendo el parámetro longitud del fetch ( $L_F$ ), no debiéndose utilizar aplicando la longitud del fetch efectiva ( $L_{F,efec}$ ).

TABLA II.3.1. ABACO PARA LA PREVISION DEL OLEAJE DE VIENTO EN AGUAS PROFUNDAS (METODO SPM/1984)



En general, los oleajes de viento presentan dispersiones direccionales importantes. No obstante, simplificadaamente podrá considerarse que la dirección principal de propagación del oleaje de viento generado coincide con la dirección de actuación del viento generador.

## II.4. PREVISION DEL OLEAJE DE VIENTO EN PROFUNDIDADES REDUCIDAS

Para la previsión de oleajes de viento en aguas poco profundas (*en general*  $\leq 15$  m) o intermedias (*en general entre* 15 y 90 m) podrá aplicarse el método simplificado paramétrico desarrollado por Bretschneider y Reid (1953) y modificado por Iijima y Tang (1966), basado en el balance entre la energía cedida por el viento al oleaje y la sustraída por fricción de fondo y percolación, suponiendo que la profundidad se mantiene constante en toda el área de generación y no teniendo en cuenta la limitación del oleaje por duración de actuación del viento. Este método representa una primera aproximación al problema, estando pendiente de desarrollo en función de los resultados obtenidos en futuras investigaciones.

Este método utiliza la siguiente formulación <sup>93)</sup>:

$$H_s = 0.283 \cdot \frac{U_A^2}{g} \cdot \operatorname{tgh} \left[ 0.530 \left( \frac{g \cdot d}{U_A^2} \right)^{3/4} \right] \cdot \operatorname{tgh} \left[ \frac{0.00565 \cdot \left( \frac{g \cdot L_F}{U_A^2} \right)^{1/2}}{\operatorname{tgh} \left[ 0.530 \cdot \left( \frac{g \cdot d}{U_A^2} \right)^{3/4} \right]} \right] \quad \text{[II.4.1]}$$

$$T_p = 7.54 \cdot \frac{U_A}{g} \cdot \operatorname{tgh} \left[ 0.833 \left( \frac{g \cdot d}{U_A^2} \right)^{3/8} \right] \cdot \operatorname{tgh} \left[ \frac{0.0379 \cdot \left( \frac{g \cdot L_F}{U_A^2} \right)^{1/3}}{\operatorname{tgh} \left[ 0.833 \cdot \left( \frac{g \cdot d}{U_A^2} \right)^{3/8} \right]} \right] \quad \text{[II.4.2]}$$

$$t_{\min} = 5.37 \cdot 10^2 \cdot \left[ \frac{g}{U_A} \right]^{4/3} \cdot (T_p)^{7/3} \quad \text{[II.4.3]}$$

siendo  $d$  la profundidad del agua y  $g$  la aceleración de la gravedad.

Para facilitar la aplicación práctica de este método en profundidades menores o iguales a 15 metros podrán utilizarse los ábacos de la tabla II.4.1., obtenidos a partir de la formulación anterior para profundidades constantes ( $d$ ) de 1.5 m, 3 m, 4.5 m, 6 m, 7.5 m, 9 m, 10.5 m, 12 m, 13.5 m y 15 m respectivamente. Para profundidades intermedias a los valores dados, las alturas de ola y los periodos podrán estimarse interpolando linealmente.

Estos ábacos tienen estructura y metodología de utilización similar que las definidas para el ábaco aplicable a aguas profundas (*Tabla II.3.1*). Estos ábacos también permiten estimar las características de oleajes limitados por la duración de actuación del viento, incorporando las isóneas de duración correspondientes. Dichas isóneas han sido obtenidas aceptando como primera aproximación para profundidades reducidas la formulación desarrollada para aguas profundas.

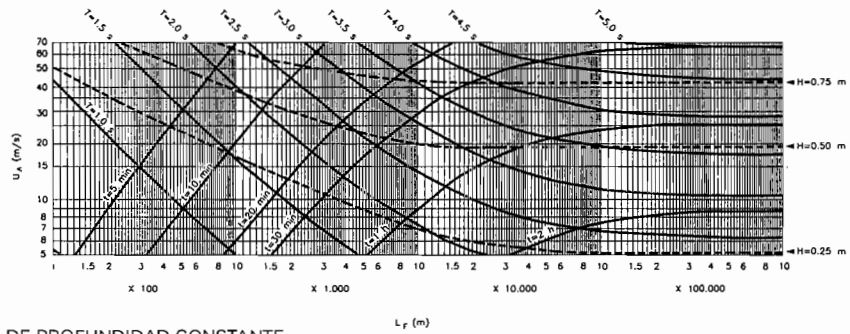
Este método es aplicable estrictamente a áreas de profundidad aproximadamente constante, no tomando por tanto en consideración los efectos asociados a las transformaciones del oleaje en profundidades reducidas variables. Únicamente como aproximación grosera, y a falta de elementos de análisis más precisos, podrá aplicarse a zonas de profundidad variable, adoptando una profundidad constante equivalente coincidente con la profundidad media.

Al igual que para el caso de oleajes en aguas profundas, en general los oleajes de viento generados en profundidades reducidas presentan dispersiones direccionales importantes. No obstante, simplificadaamente podrá considerarse que la dirección principal de propagación de dichos oleajes en zonas de profundidad constante coincide con la dirección de actuación del viento generador.

**TABLA II.4.1. ABACOS PARA LA PREVISION DEL OLAJE DE VIENTO EN PROFUNDIDADES REDUCIDAS ( $\leq 15$  m) DE PROFUNDIDAD CONSTANTE. (METODO SPM/1984)**

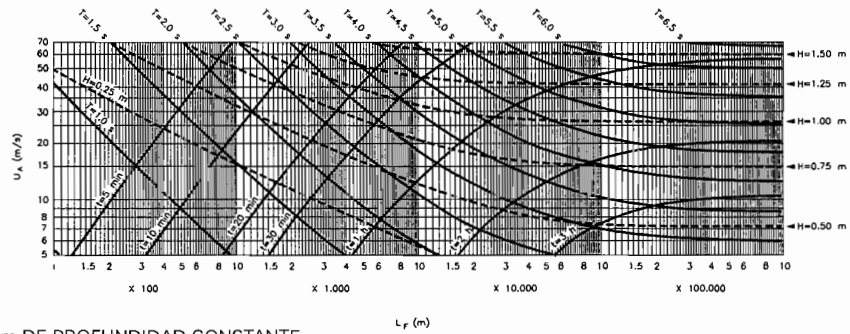
**PARA 1,5 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE**

NOTA: Oleajes en profundidades de 1,5 m con periodos menores de 1,4 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse  $d/T^2 > 0,78$  para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



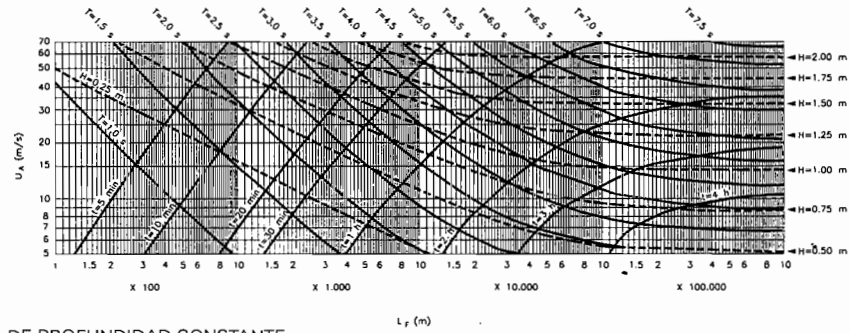
**PARA 3 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE**

NOTA: Oleajes en profundidades de 3 m con periodos menores de 2 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse  $d/T^2 > 0,78$  para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



**PARA 4,5 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE**

NOTA: Oleajes en profundidades de 4,5 m con periodos menores de 2,4 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse  $d/T^2 > 0,78$  para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



**PARA 6 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE**

NOTA: Oleajes en profundidades de 6 m con periodos menores de 2,8 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse  $d/T^2 > 0,78$  para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.

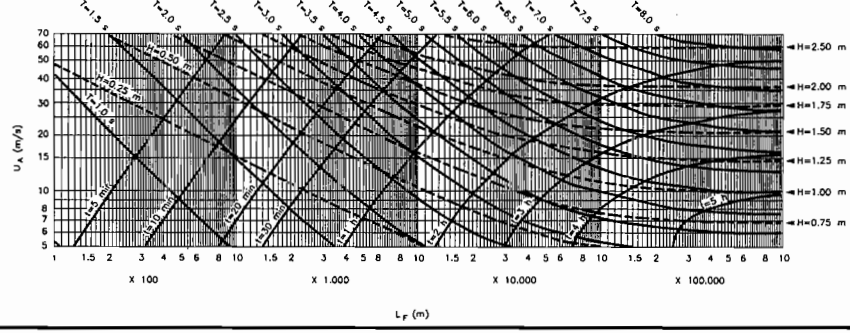
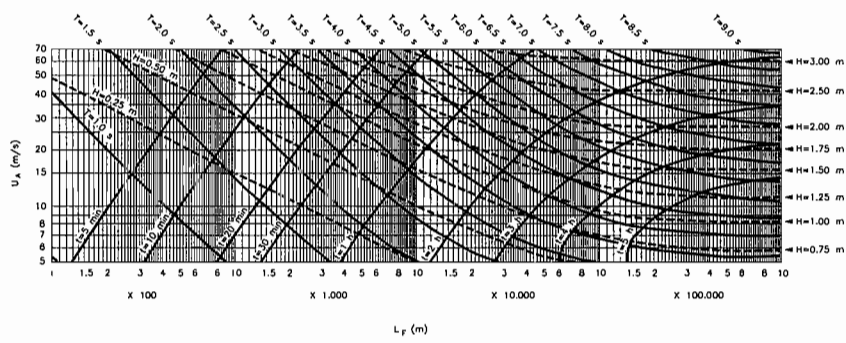


TABLA II.4.1. (Continuación)

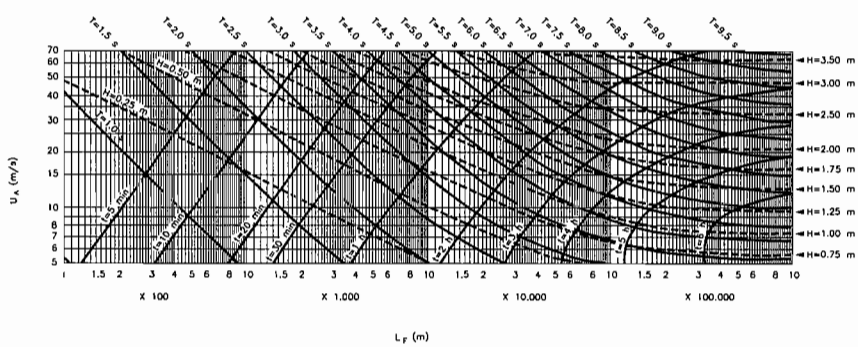
PARA 7,5 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE

NOTA: Oleajes en profundidades de 7,5 m con periodos menores de 3,1 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse  $d/T^2 > 0,78$  para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



PARA 9 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE

NOTA: Oleajes en profundidades de 9 m con periodos menores de 3,4 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse  $d/T^2 > 0,78$  para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



PARA 10,5 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE

NOTA: Oleajes en profundidades de 10,5 m con periodos menores de 3,7 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse  $d/T^2 > 0,78$  para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.

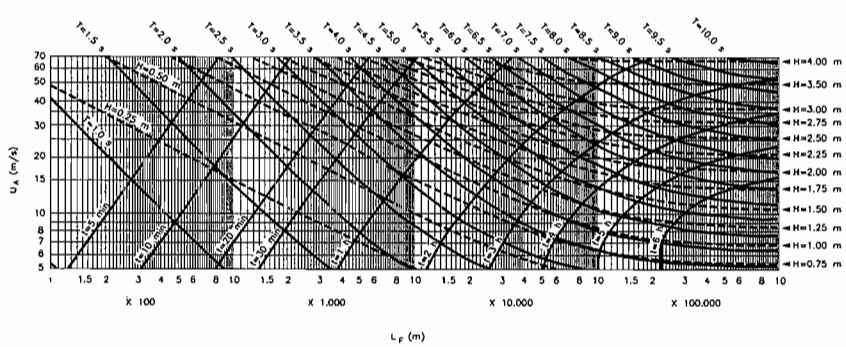
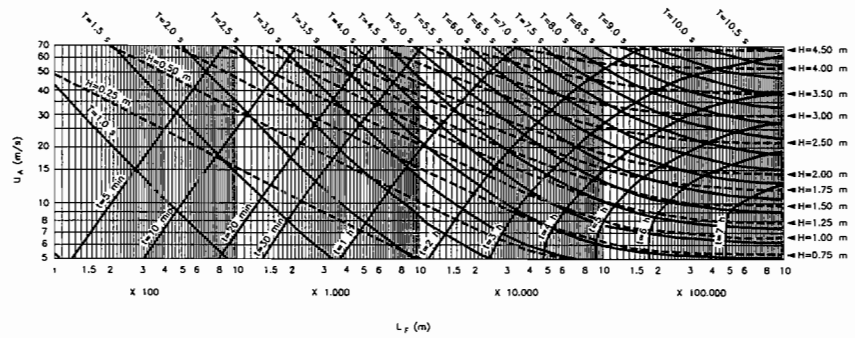




TABLA II.4.1. (Continuación)

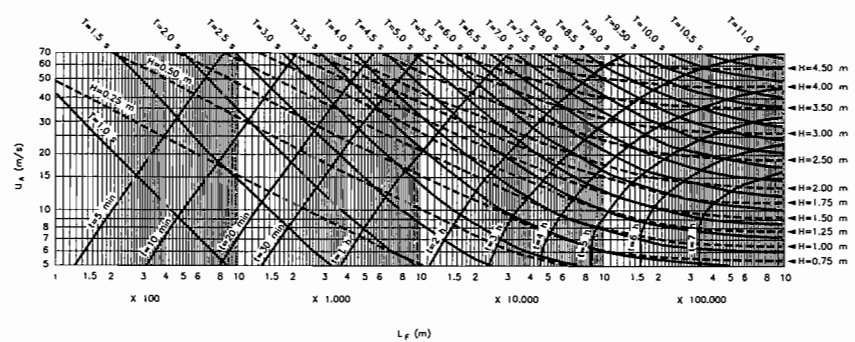
**PARA 12 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE**

NOTA: Oleajes en profundidades de 12 m con periodos menores de 3,9 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse  $d/T^2 > 0,78$  para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



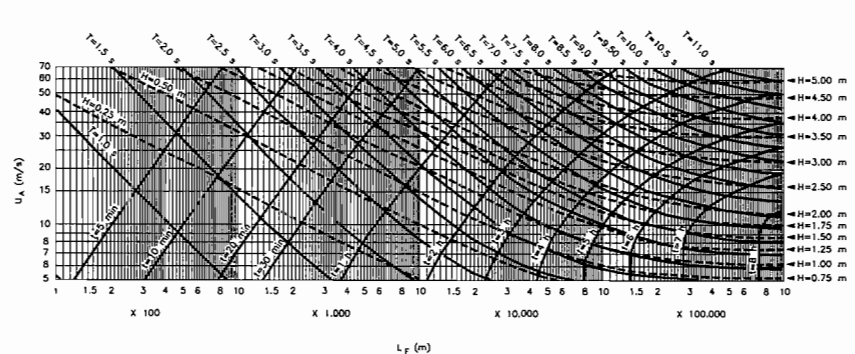
**PARA 13.5 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE**

NOTA: Oleajes en profundidades de 13,5 m con periodos menores de 4,2 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse  $d/T^2 > 0,78$  para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



**PARA 15 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE**

NOTA: Oleajes en profundidades de 15 m con periodos menores de 4,4 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse  $d/T^2 > 0,78$  para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



NOTA: Se considera que un oleaje está en aguas profundas cuando la razón entre la profundidad del agua (d) y la longitud de onda (L) es mayor que 1/2. Es decir, aplicando el modelo de onda de Airy, cuando:

$$d/L > 1/2 \Rightarrow \frac{d}{gT^2/2\pi} > 1/2 \Rightarrow \frac{d}{T^2} > 0.78$$

, para d en m y T en s.

