



PUERTOS DEL ESTADO
MINISTERIO DE FOMENTO

**RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO Y
CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS PORTUARIOS**

ROM 4.1 (2018)

RECOMENDACIONES PARA OBRAS MARÍTIMAS

REALIZADO POR:
FUNDACIÓN AGUSTIN DE BETANCOURT
Prof. Guillermo Albrecht Arquer
Prof. Alberto Camarero Orive
Prof. Félix Pérez González

31 de enero de 2018

MINISTERIO DE FOMENTO

**RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO Y
CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS PORTUARIOS**

ROM 4.1 (2018)

RECOMENDACIONES PARA OBRAS MARÍTIMAS

Autores:

**Prof. Alberto Camarero Orive
Prof. Guillermo Albrecht Arquer
Prof. Félix Pérez González**

Prólogo

El **Programa ROM** engloba diversas actividades de estudio y debate orientadas al desarrollo del conjunto de reflexiones sectoriales difundido con las distintas Recomendaciones para Obras Marítimas sucesivamente editadas y constituye un marco permanente de normalización técnica en el ámbito de la ingeniería marítimo-portuaria que depende de las Administraciones competentes para los puertos de interés general del Estado.

Sus objetivos se dirigen a consolidar la importante experiencia española en este campo, a establecer los diferentes estándares de fiabilidad, funcionalidad y operatividad que deben exigirse a los proyectos correspondientes y a potenciar una mayor calidad en la ejecución de las obras portuarias durante todas sus fases, desde las de la planificación, proyecto y construcción o puesta en servicio, hasta las de conservación y posibles reparaciones o desmantelamientos. Todo ello sin olvidar su papel como instrumento especializado para el desarrollo y la innovación, tanto en lo que respecta a una introducción de avances tecnológicos recientes cuanto a detectar las necesidades con más relevancia o urgentes de profundización en el conocimiento y, por tanto, de su investigación.

Este Programa normativo de Recomendaciones fue creado en 1987 por el entonces Ministerio de Obras Públicas a través de la Dirección General de Puertos y Costas, y desde entonces ha desarrollado sus tareas de forma ininterrumpida, en constante evolución, materializando un conjunto de documentos con amplias aplicaciones que han alcanzado reconocido prestigio estatal e internacional como excelentes herramientas técnicas para el proyecto y construcción de las infraestructuras portuarias.

La sistemática establecida para elaborar los mismos, fruto de procesos de discusión prolongada y posterior acuerdo entre distintas posiciones técnicas representadas en el seno del sector mediante los diversos Grupos de Trabajo ha sido, y seguirá siendo, la mejor garantía de su rigor y aplicabilidad, al recoger en cada momento de forma contrastada todo el estado del arte y las experiencias desarrolladas, tanto al nivel práctico como en teórico-académico, por la ingeniería portuaria española.

Actualmente, las publicaciones que incluye el Programa se agrupan en varias ramas temáticas diferenciadas:

- Serie 0: Descripción y caracterización de los factores de proyecto.
- Serie 1: Obras de abrigo frente a las oscilaciones del mar.
- Serie 2: Obras portuarias interiores.
- Serie 3: Planificación, gestión y explotación de las áreas portuarias.
- Serie 4: Superestructuras e instalaciones en tierra.
- Serie 5: Aspectos ambientales de las obras marítimas en el entorno litoral.
- Serie 6: Prescripciones técnicas, administrativas y legales.

Dentro de la Serie 4 “Superestructuras e instalaciones en tierra” se publicó, en el año 1994, las Recomendaciones para el Proyecto y Construcción de Pavimentos Portuarios y otras superficies industriales (bajo la denominación de ROM 4.1-94). Tras el periodo transcurrido, después de haber estado en vigor durante más de dos décadas, evidenciando su gran utilidad e influencia para mejorar los proyectos portuarios en el ámbito de los pavimentos, se ha considerado

necesario revisar y actualizarla para tomar en cuenta, tanto resultados de su aplicación y nuevos desarrollos tecnológicos, como la más reciente experiencia disponible, al objeto de mantener un texto continuamente alineado con las necesidades del sector y las mejores prácticas presentes.

El Programa pretende redactar un conjunto de recomendaciones que reúna la tecnología más avanzada en el campo de la ingeniería marítima y portuaria y que constituya un instrumento técnico para proyectistas, supervisores y constructores, facilitando a los distintos entes del Estado y a las empresas privadas con competencias o intereses en la ingeniería marítima y portuaria el fácil acceso a la información especializada necesaria para el desarrollo de sus trabajos.

La nueva **ROM 4.1-18** consecuente supone una revisión ampliada y una actualización de la ROM 4.1-94 editada con anterioridad.

Su proceso de elaboración ha seguido la metodología habitual establecida en el Programa de estas Recomendaciones normativas, habiendo sido redactada bajo la responsabilidad y supervisada por Puertos del Estado, con la participación de un gran número de expertos y usuarios, abracando Puertos del Estado, Autoridades Portuarias, concesionarios, empresas de ingeniería y construcción, así como centros de investigación y universidades. Es imprescindible agradecer a todos ellos su participación y aportaciones que han permitido la finalización de estas Recomendaciones.

La ponencia se redactó por los siguientes profesores de la Universidad Politécnica de Madrid, a través, de un convenio de colaboración con la Fundación Agustín de Betancourt:

- Alberto Camarero Orive
- Guillermo Albrecht Arquer
- Félix Pérez González

Dentro del amplio foro de participantes cabe mencionar por sus grandes aportaciones al profesor Pablo de la Fuente Martín de la Universidad Politécnica de Madrid y, al profesor Jesús Santamaría, del Centro de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)

El presente documento pretende responder, en su ámbito específico, al mismo objetivo general del Programa ROM, es decir, proporcionar a proyectistas, constructores y Autoridades Portuarias un instrumento que ayude a mejorar la calidad de sus realizaciones en el campo concreto de las obras de pavimentación portuaria, optimizando las soluciones adoptadas en cada situación y haciendo que se establezcan con criterios uniformes. Con la actualización de la normalización de secciones estructurales de firme se persiguen unos objetivos similares a los que en su día se plantearon en la ROM 4.1-94, y cuya consecución ha supuesto las siguientes ventajas:

- Se limita el número de secciones diferentes que se proyectan y se construyen, con lo que se facilita la supervisión de los proyectos, el control de calidad de su ejecución, la evaluación de su comportamiento y, en definitiva, la gestión de la conservación.
- Se abre el abanico de soluciones a distintas estrategias de inversión y mantenimiento, siempre partiendo de conseguir un buen cimiento del pavimento,

lo que redundará en un adecuado comportamiento durante el periodo de explotación.

- Las soluciones se eligen mediante un proceso relativamente sencillo, obviándose la complejidad de cálculo de algunos métodos de dimensionamiento, por lo que el proyectista puede centrarse en la elección de la solución más adecuada en cada caso concreto en función de la disponibilidad de materiales y, en suma, de los costes.
- Se exponen los criterios de dimensionamiento seguidos de manera que posibilite estudios ulteriores de mayor profundidad o estudios de sensibilidad.

En consecuencia, se ofrece un documento de trabajo cuya aplicación servirá a medio plazo para su perfeccionamiento. Es preciso tener en cuenta en este sentido que el planteamiento puramente teórico del problema es de una gran complejidad, debido a la naturaleza, desarrollo y magnitud de las cargas que actúan sobre los pavimentos portuarios, las características de los rellenos y los fondos marinos en los que se apoyan y la propia complejidad de las operaciones portuarias.

PUERTOS DEL ESTADO

MINISTERIO DE FOMENTO

**RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO Y
CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS PORTUARIOS**

ROM 4.1 (2018)

RECOMENDACIONES PARA OBRAS MARÍTIMAS

(ENERO DE 2018)

NOTA

El presente documento se entrega a Puertos del Estado el 31 de enero de 2018. Constituye el documento final de las “Recomendaciones para el Proyecto y Construcción de Pavimentos Portuarios” (ROM 4.1) donde se han introducido todos los comentarios y modificaciones sugeridas por la Comisión formada a tal efecto.

ÍNDICE

Introducción

Parte 1: General

Parte 2: Uso de las superficies terrestres portuarias

Parte 3: Caracterización de las cargas en las superficies portuarias

Parte 4: Rellenos y explanadas

Parte 5: Materiales para firmes y pavimentos

Parte 6: Dimensionamiento de firmes portuarios

Parte 7: Prescripciones de proyecto y construcción

Parte 8: Catálogo de secciones estructurales normalizadas

Parte 9: Gestión de la conservación

Anejo A: Fundamentos teóricos del dimensionamiento

Anejo B: Grado de utilización de las terminales portuarias

ÍNDICE

- 1.1 Ámbito de aplicación
- 1.2 Contenido
- 1.3 Definiciones
- 1.4 Sistema de unidades
- 1.5 Notaciones
- 1.6 Principales referencias documentales

Se incluyen todos los aspectos generales necesarios para la correcta aplicación y comprensión de las recomendaciones.

1.1 ÁMBITO DE APLICACIÓN

Como el resto de las Recomendaciones integradas en el Programa ROM, la ROM 4.1 es de aplicación en el proyecto y construcción de todos los firmes y pavimentos portuarios cualquiera que sea su tipo o destino. Se incluyen dentro de los pavimentos portuarios todas las superficies que han de soportar tráfico de rodadura no restringida y que se encuentran dentro de los límites de una Autoridad Portuaria, sin excluir de dichas superficies las comprendidas en concesiones privadas o en instalaciones industriales específicas.

Se ha intentado recoger todas las situaciones diferentes de pavimentación posibles en un puerto. Sin embargo, la intensidad con la que se han tratado ha sido distinta, habiéndose puesto el énfasis en las diversas zonas de uso comercial. Las soluciones propuestas están enmarcadas en lo que puede considerarse la práctica más habitual en España, sin excluir por ello propuestas que en algunos casos pueden calificarse como novedosas. Además, en algunas circunstancias especiales el proyectista podrá considerar otras soluciones diferentes que pudieran llegar a ser las idóneas en esas circunstancias (por la naturaleza de las cargas, por la disponibilidad de materiales de construcción no directamente contemplados, etc.).

En principio, las recomendaciones recogidas en la ROM 4.1 se orientan preferentemente hacia los firmes y pavimentos que se construyen con carácter *definitivo*, para una vida útil mínima de 25 años o más.

1.2 CONTENIDO

Las presentes recomendaciones reúnen la información y criterios necesarios para el proyecto y construcción de firmes y pavimentos en las condiciones más habituales de los puertos. No obstante, una buena parte de su contenido puede ser de aplicación directa o mediante extrapolación a cualquier puerto, con las adaptaciones necesarias que requieran las condiciones locales específicas. ROM 4.1 se estructura en las siguientes nueve partes:

Parte 1: *General*. Incluye todos los aspectos generales necesarios para la correcta aplicación y comprensión de las recomendaciones.

Parte 2: *Usos de las superficies terrestres portuarias*. Se clasifican, a los efectos de su pavimentación, las diferentes zonas que se pueden distinguir en un puerto, cualquiera que sea su uso, y no sólo las relacionadas directamente con la transferencia entre el modo de transporte marítimo y el terrestre, sino también las destinadas a la circulación y estacionamiento de vehículos de carretera.

Parte 3: *Caracterización de las cargas en las superficies portuarias*. En cada una de las distintas zonas diferenciadas en la Parte 2 se clasifican las cargas actuantes. En primer lugar, se clasifican por sus efectos sobre el firme, estableciendo en cada caso una carga de cálculo; en segundo lugar, se clasifican por la intensidad de uso con que se aplican durante la vida útil de cada superficie, en función de las previsiones de explotación de dicha superficie. El objetivo es establecer una categoría de tráfico como parámetro de dimensionamiento; la misma se obtiene en cada caso como combinación de la clasificación de la carga de cálculo y de la intensidad de uso de la superficie.

Parte 4: *Rellenos y explanadas*. Se exponen los criterios fundamentales para caracterizar el cimientado de los firmes, distinguiendo la coronación, cuya superficie superior recibe el nombre de explanada y es la de apoyo del firme, el relleno y el fondo sobre el que está dicho relleno. En última instancia se establecen unas categorías de explanada como parámetro de dimensionamiento de los firmes.

Parte 5: *Materiales para firmes y pavimentos*. Se presentan las unidades de obra más usuales que pueden ser empleadas para las distintas capas de los firmes y pavimentos portuarios, con una somera descripción de sus características

fundamentales y señalando las ventajas e inconvenientes que pueden presentar en cada caso.

Parte 6: *Dimensionamiento de los firmes portuarios*. Mientras en el Anejo A se describen los métodos de dimensionamiento que constituyen los fundamentos del catálogo de la Parte 8, aquí se detalla el procedimiento que debe seguir un proyectista para establecer, con la ayuda de dicho catálogo, la sección estructural más adecuada en cada caso.

Parte 7: *Prescripciones de proyecto y construcción*. Se incluyen recomendaciones de proyecto y construcción de los firmes y pavimentos, con las principales especificaciones que se deben exigir a los materiales empleados en cada caso. Se incluyen, así mismo, recomendaciones sobre las características superficiales que deben tener los distintos pavimentos, en especial las necesarias para posibilitar la evacuación de las aguas de lluvia.

Parte 8: *Catálogo de secciones estructurales normalizadas*. En diversas fichas se presenta una amplia gama de soluciones de firme para las distintas zonas portuarias en función de las categorías del tráfico y de la explanada.

Parte 9: *Gestión de la conservación*. Se analizan los principios generales de la conservación de pavimentos, así como una introducción a la gestión de la conservación. Además, se pasa revista a las principales actuaciones de conservación y se sientan las bases de los planes de conservación de pavimentos portuarios.

1.3 DEFINICIONES

A los efectos de este documento se definen expresamente los términos fundamentales que se relacionan a continuación. Para otros términos de carácter más general y sólo ocasionalmente utilizados en ROM 4.1 debe recurrirse a las definiciones contenidas en ROM 0.2. Para los términos específicos relacionados con los rellenos o en general con aspectos geotécnicos ha de recurrirse a las definiciones contenidas en ROM 0.5. También

se ha usado la ROM 2.0-11 de "Recomendaciones de para el proyecto y ejecución en obras de atraque y amarre".

ADOQUÍN PREFABRICADO DE HORMIGÓN: Pieza prismática prefabricada de hormigón que puede colocarse a mano para constituir un pavimento.

APILADOR DE ALCANCE (*Reach Stacker*): Vehículo usado para el manejo de contenedores en terminales o en puertos. Estos vehículos también son capaces de transportar rápidamente un contenedor en distancias cortas y apilarlo en distintas pilas.

BASE: Capa de un firme que se encuentra bajo el pavimento.

CAMIÓN VOLQUETE (*dumper*): Vehículo de motor con grandes ruedas y una caja delantera que puede levantarse mediante un sistema hidráulico para volcar su contenido.

CARGA: Fuerza que genera estados tensionales, esfuerzos o deformaciones en una estructura o en un elemento estructural, en particular en cualquiera de las capas de un firme o en el apoyo del mismo.

CARGA ACCIDENTAL: Carga de carácter fortuito o anormal que puede presentarse como resultado de un accidente, mal uso, errores humanos o condiciones ambientales o de trabajo excepcionales.

CARGA DE CÁLCULO: Valor ponderado de una carga que resulta de aplicar a los valores característicos de la misma los apropiados coeficientes de seguridad. Los efectos producidos por las cargas son obtenidos en base a los valores de cálculo de las mismas.

CARGA CARACTERÍSTICA: Valor de una carga asociado a una probabilidad de excedencia durante la vida asignada en cada una de las fases e hipótesis de proyecto.

CARGA DINÁMICA: Carga cuya actuación genera aceleraciones significativas en la estructura o en elementos estructurales.

CARGA ESTÁTICA: Carga cuya actuación no genera aceleraciones significativas en la estructura o en elementos estructurales, en particular en las capas de un firme. A efectos

de dimensionamiento de los firmes, y salvo que se especifique lo contrario, las cargas se consideran estáticas.

CARGA DE IMPACTO: Acción que actúa sobre una estructura produciendo en ella una respuesta que alcanza un valor máximo en el momento inicial, reduciéndose con posterioridad hasta la situación de reposo.

CARGA PERMANENTE: Carga que actúa en todo momento durante la fase de proyecto que se analiza.

CARGA VARIABLE: Carga de magnitud y/o posición variable a lo largo del tiempo de forma frecuente o continua.

CARGADOR FRONTAL (*front lift truck*): Equipo de circulación no restringida que se emplea para el traslado de mercancía general y de contenedores, con ruedas de neumáticos gemelas en el eje frontal y simples en el eje trasero, a veces dotado de pluma telescópica. En ocasiones la elevación de la carga se realiza mediante horquillas (cargador frontal de horquillas o *forklift*).

CARGADOR LATERAL (*side loader lift truck*): Equipo de circulación no restringida que se emplea para el traslado de contenedores y que en el momento de cargar o descargar se apoya sobre calzos estabilizadores.

CARRETILLA LANZADERA (*shuttle carrier*): Equipo de circulación no restringida que se emplea para el traslado de contenedores, en las terminales semiautomáticas, cuyas ruedas pueden tomar todas las direcciones, girando incluso totalmente alrededor del eje vertical.

CARRETILLA PÓRTICO (*straddle carrier*): Equipo de circulación no restringida que se emplea para el traslado de mercancía general y de contenedores cuyas ruedas pueden tomar todas las direcciones, girando incluso totalmente alrededor del eje vertical.

CARRIL: Elemento superior de la estructura de la vía del ferrocarril y de equipos de manipulación de mercancías de movilidad restringida, que actúa como calzada, dispositivo de guiado y elemento conductor de la corriente.

CATÁLOGO DE SECCIONES ESTRUCTURALES: Conjunto de fichas en las que se recogen agrupadas por su tipología diversas opciones de secciones estructurales de firme, detallando espesores y naturaleza de las capas, para cada una de las combinaciones posibles de los distintos factores de dimensionamiento.

COEFICIENTE DE SEGURIDAD O DE MAYORACIÓN DE CARGAS: Factor multiplicador de los valores representativos de las cargas para obtener los valores de cálculo.

COEFICIENTE DE SEGURIDAD O DE MINORACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES: Coeficiente introducido en el cálculo para minorar los valores característicos de las propiedades de los materiales para obtener sus valores de cálculo.

CONTENEDOR: Receptáculo paralelepípedo de dimensiones estandarizadas en cuyo interior se colocan mercancías de tipo general, transportándose íntegramente desde origen a destino.

DIMENSIONAMIENTO: Proceso al final del cual se determina la composición y espesores de cada capa de una sección de firme.

EJE TÁNDEM: Conjunto de dos ejes de un vehículo que constituyen un sólo apoyo del chasis.

ESTABILIZACIÓN: Proceso que consiste en incorporar a un suelo o a un árido con determinadas cualidades otro suelo u otro árido de mejores cualidades (estabilización mecánica) o, más habitualmente, algún tipo de aditivo (estabilización con aditivos) a fin de que la mezcla (realizada *in situ* o en central) sea tras su extensión y compactación relativamente insensible a la acción del agua, tenga una mayor capacidad de soporte e incluso en ocasiones sea un material rígido. Dicho proceso admite diversos grados (simplemente una *mejora* o una estabilización propiamente dicha).

EXPLANADA: Superficie de apoyo de un firme.

FASES DE PROYECTO: Etapas diferenciadas en las cuales se divide normalmente la vida de proyecto de una estructura.

FÍLLER: Anglicismo habitualmente empleado para designar el polvo mineral que forma parte de una mezcla bituminosa.

FIRME: Estructura resistente formada por una o varias capas superpuestas sobre una explanada para soportar el paso de vehículos.

FIRME DEFINITIVO: El que se proyecta y construye para una vida útil no inferior a veinticinco años, con una estructura tal que no son de esperar en servicio deformaciones importantes al estar apoyado sobre un relleno suficientemente consolidado.

FIRME FLEXIBLE: El que experimenta deflexiones apreciables bajo las cargas del tráfico.

FIRME PROVISIONAL: El que se proyecta y construye para una vida útil de unos pocos años, con el objeto de que durante la misma se produzcan los asentos y deformaciones esperados.

FIRME RÍGIDO: El que no experimenta deflexiones apreciables bajo las cargas del tráfico; habitualmente está formado por un pavimento de hormigón apoyado sobre otras capas o directamente sobre la explanada, pudiendo ser dicho hormigón compactado con rodillo o vibrado, en masa o armado y en este último caso con barras o con fibras.

FIRME SEMIRRÍGIDO: El que, no experimentando deflexiones apreciables bajo las cargas del tráfico, tampoco tiene un pavimento de hormigón.

GRANEL LÍQUIDO: Producto que se manipula en forma líquida sin transportarse en envases sueltos de pequeña capacidad relativa. Atendiendo a sus características se clasifica en graneles ordinarios y derivados del petróleo: refinados, crudos, gases y otros.

GRANEL LÍQUIDO ORDINARIO: Granel líquido no combustible ni inflamable ni tóxico: agua, vino, etc.

GRANEL SÓLIDO: Producto sólido en forma de materia suelta que puede ser manipulado de forma continua por medios mecánicos. Atendiendo a su presentación se clasifica en graneles ordinarios (suelos o pulverulentos) y graneles minerales (granulados o pesados).

GRANEL SÓLIDO PESADO: Granel sólido de alto peso específico, entre los que destacan los minerales.

GRAVA-CEMENTO: Material empleado en la construcción de firmes compuesto por una mezcla realizada en central de áridos total o parcialmente triturados, una pequeña cantidad de cemento, agua y, a veces, adiciones, que se extiende y compacta para formar capas de base con espesores que varían normalmente entre 15 y 25 cm.

GRAVA-EMULSIÓN: Material empleado en la construcción de firmes compuesto por una mezcla realizada en central de áridos total o parcialmente triturados, una pequeña cantidad de emulsión bituminosa de rotura lenta, agua y, a veces, un polvo mineral de aportación, que se extiende y compacta para formar capas de base o de regularización con espesores que varían normalmente entre 5 y 20 cm.

GRAVA-ESCORIA: Material empleado en la construcción de firmes compuesto por una mezcla realizada en central de áridos total o parcialmente triturados, escoria granulada de horno alto, agua y un activador del fraguado, como la cal, que se extiende y compacta para formar capas de base o de regularización con espesores que varían normalmente entre 10 y 30 cm.

GRÚA: Equipo de manipulación de mercancías por elevación.

GRÚA AUTOMÓVIL: Grúa montada sobre neumáticos u orugas, capaz de desplazarse sin restricciones por toda una superficie.

GRÚA PORTACONTENEDORES: Grúa pórtico con una viga lanzadera abatible y en vuelo hacia el mar, por la cual se desplaza un carretón del que cuelga un marco metálico de enganche de los contenedores, posibilitando la carga o descarga directa de los mismos desde o hacia una zona de evacuación o almacenamiento. Tiene capacidad de traslación longitudinal sobre carriles en dirección perpendicular a la pluma e incapacidad de girar sobre un eje vertical.

GRÚA PÓRTICO O GRÚA DE MUELLE: Grúa capaz de desplazarse longitudinalmente sobre carriles a lo largo del muelle, en dirección paralela al cantil, apoyando todas sus

patas en el plano del muelle y pudiendo girar sobre su eje vertical de forma completa, constando de tres partes principales: pórtico, cabina de mando y motor y pluma.

HORMIGÓN ARMADO: El que lleva mallas electrosoldadas o barras de acero para resistir las tracciones y/o repartir las fisuras de retracción hidráulica y termohigrométrica.

HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS: Hormigón en cuya masa se han incorporado de manera homogénea fibras de acero trellado o sintéticas con los extremos conformados con el objeto principalmente de aumentar la elongación en rotura y la resistencia al impacto.

HORMIGÓN MAGRO: Dícese del que tiene una cantidad de cemento muy inferior a la de los hormigones normales, por ejemplo, del orden de la mitad (sinónimo: hormigón pobre). En firmes se emplea, en un espesor no inferior a 15 cm, como capa de base.

HORMIGÓN VIBRADO: Mezcla realizada en central de gravas de diferentes tamaños, arena, cemento, agua y eventualmente adiciones, que se extiende manual o mecánicamente en losas de espesores variables, se compacta mediante la introducción en su masa de vibradores y, tras su curado y fraguado, se puede emplear como pavimento, el cual se caracteriza mecánicamente por su resistencia característica a flexotracción.

ÍNDICE DE EXPLOTACIÓN: Índice referido a una determinada magnitud de explotación portuaria por año y que da una idea de la actividad portuaria y del aprovechamiento de una determinada instalación, como por ejemplo la cantidad de mercancías embarcadas o desembarcadas por unidad de longitud de atraque.

INTENSIDAD DE USO: Parámetro de dimensionamiento de firmes portuarios establecido según una clasificación de un determinado índice de explotación y que representa la mayor o menor importancia de una superficie en relación con la explotación portuaria, así como la mayor o menor incidencia en esa explotación de los deterioros que se pudieran producir en el firme.

MEZCLA BITUMINOSA DE ALTO MÓDULO: Combinación de un betún asfáltico, áridos con granulometría continua, polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por una película homogénea de ligante, cuyo proceso de fabricación y puesta en obra deben realizarse a una temperatura muy superior

a la del ambiente. Cuando el valor del módulo dinámico a veinte grados Celsius (20 °C) de la mezcla bituminosa (Anexo C de la norma UNE-EN 12697-26), sobre probetas preparadas de acuerdo con la norma UNE-EN 12697-30 con setenta y cinco (75) golpes por cara, es superior a once mil megapascals (> 11 000 MPa), se define como de alto módulo, pudiendo emplearse en capas intermedias o de base para categorías de tráfico pesado T00 a T2, con espesores comprendidos entre seis y trece centímetros (6 a 13 cm).

MERCANCÍA GENERAL: Producto transportado bajo el aspecto de material apilado, envasado o empaquetado (en sacos, cajas, barriles, lingotes, rollos, balas, etc.) y manipulado de forma discontinua individual (rollos, bienes de equipo, etc.) o unitariamente (por medio de parrillas, redes, etc.).

MERCANCIA GENERAL PALETIZADA: Mercancía general manipulada por medio de parrillas o plataformas de dimensiones normalizadas sobre las cuales se depositan las mercancías formando una unidad de manipulación y carga.

PAVIMENTO: Capa o capas superiores de un firme.

PAVIMENTO ASFÁLTICO: El formado por mezclas bituminosas, lechadas bituminosas o riegos con gravilla.

PLATAFORMA RODANTE (*roll tráiler*): Carretón industrial que consiste en plataformas bajas o transportadores de forma especial, montado sobre rodillos o combinaciones de roldanas pivotantes fijas e inclinables.

POLVO MINERAL: En un árido, la fracción más fina de las que se pueden obtener por tamizado: en general, lo cernido por el tamiz de 80 µm. Cuando en una mezcla con áridos se incorpora uno diferente del de los mismos, se habla de polvo mineral de aportación.

PÓRTICO DE ALMACENAMIENTO (*transtainer*): Equipo de movilidad restringida sobre carriles o neumáticos dedicado a la manipulación de mercancía general y especialmente de contenedores.

PÓRTICO DE ALMACENAMIENTO TIPO ASC: Equipo de movilidad restringida sobre carriles dedicado a la manipulación de contenedores en terminales semiautomáticas.

RIEGO: Aplicación sobre una superficie de un producto bituminoso suficientemente fluido mediante su difusión manual o automática desde una cisterna u otro tipo de depósito

RIEGO CON GRAVILLA: Técnica de pavimentación consistente en la aplicación sobre una superficie de un producto bituminoso suficientemente fluido seguida de la extensión y apisonado de una gravilla de tamaño uniforme. Si el proceso se realiza una sola vez se habla de riego monocapa; si se repite, se denomina entonces riego bicapa.

SEMIRREMOLQUE: Plataforma o caja abierta para el traslado (enganchada a un tractor) y almacenamiento de mercancía general o de contenedores, con longitudes habituales de 6 o 12 m, que tienen en su parte trasera un eje con ruedas de neumáticos y que en su parte delantera se apoyan, cuando están desenganchadas del tractor, en dispositivos de tipología variada: ruedas metálicas, placas o viguetas.

SUBBASE: Capa de un firme que se encuentra bajo la base.

SUELO-CEMENTO: Material empleado en la construcción de firmes compuesto por una mezcla realizada en central de suelo de calidad, cemento, agua y, a veces, adiciones, que se extiende y compacta para formar capas de base o de subbase con espesores que varían normalmente entre 15 y 30 cm.

TEU: Unidad equivalente de contenedor de 20 pies (*Twenty Equivalent Unit*).

TUDO UNO DE CANTERA: Material obtenido del frente de excavación de una cantera y que no ha sido clasificado por tamaños y que se puede utilizar como coronación de los rellenos portuarios, así como en el trasdós de muelles de gravedad.

VEHÍCULO PESADO: Se incluye en esta denominación los camiones de carga útil superior a 3 t, de más de 4 ruedas y sin remolque; los camiones con uno o varios remolques; los vehículos articulados y los vehículos especiales; y los vehículos dedicados al transporte de personas con más de 9 plazas.

VÍA DE COMUNICACIÓN: Zona destinada exclusivamente al tránsito de mercancías, materiales o suministros desde las zonas de operación hasta las zonas de almacenamiento

y desde éstas entre sí y hasta las zonas exteriores a la zona portuaria, así como los procesos inversos. También se considera como vía de comunicación la destinada al tráfico que sirve a la instalación.

VÍA DE MANIOBRA: Vía de comunicación que une zonas de operación con zonas de almacenamiento o cada una de ellas entre sí, principalmente destinada a la circulación de equipos de manipulación de mercancías.

VIAL DE ACCESO: Vía de comunicación que une zonas de operación o almacenamiento con zonas exteriores a la zona portuaria o que sirve a zonas sin manipulación de mercancías. Generalmente son vías preferentemente destinadas al tráfico rodado convencional.

VIDA DE PROYECTO: Período de tiempo que va desde el comienzo de la construcción de la estructura proyectada hasta su inutilización, desmontaje o cambio de uso.

VIDA ÚTIL: Duración de la fase de servicio.

ZAHORRA: Mezcla de gravas y arenas con una graduación continua del tamaño de las partículas utilizada en la construcción de carreteras.

ZAHORRA ARTIFICIAL: La reconstituida a partir de diversas fracciones de áridos total o parcialmente triturados.

ZAHORRA NATURAL: La formada por partículas rodadas tal como se encuentran en los yacimientos granulares.

ZONA DE ALMACENAMIENTO: Zona destinada a estancias prolongadas de mercancías, materiales o suministros, permitiendo la acumulación de los mismos.

ZONA DE CIRCULACIÓN NO CANALIZADA: Zona en la que los movimientos de los equipos de manipulación de mercancías y del tráfico rodado convencional no pueden ser predeterminados.

ZONA DE OPERACIÓN: Zona destinada a la transferencia y manipulación de mercancías, materiales y suministros, en las que no se produce acumulación duradera de éstos.

ZONA COMPLEMENTARIA: Zona excluida del tráfico de mercancías, materiales y suministros. Es generalmente una zona dedicada a edificios de oficinas, dependencias administrativas, paseo y esparcimiento.

1.4 SISTEMA DE UNIDADES

El sistema de unidades usado en estas Recomendaciones corresponde al sistema legal de unidades de medida obligatorio en España, denominado *Sistema Internacional de Unidades* (SI), con la salvedad de la unidad derivada de fuerza en que también se utiliza la tonelada-fuerza (t) debido a lo usual de dicha unidad en España para la medición de cargas y esfuerzos. En la tabla 1.1 se incluyen las unidades básicas y derivadas del SI más comúnmente utilizadas en la ingeniería civil, a las que hay que añadir los correspondientes múltiplos y submúltiplos de los que se indican algunos de los más usuales.

La relación de la tonelada fuerza con la unidad derivada de fuerza del SI es la siguiente: $1 t = 1000 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 9,8 \text{ kN}$; inversamente, $1 \text{ kN} = 0,102 t$. En cuanto a las unidades de presión, la relación es $1 \text{ MPa} = 10,2 \text{ kp/cm}^2$; inversamente $1 \text{ kp/cm}^2 = 0,098 \text{ MPa}$, siendo el kilopondio (kp) o kilogramo fuerza la milésima parte de la tonelada fuerza.

1.5 NOTACIONES

Las notaciones, abreviaturas y símbolos convencionales fundamentales empleados en estas Recomendaciones y sus unidades están recogidos en la tabla 1.2.

TABLA 1.1 MAGNITUDES Y UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL

Magnitudes	Unidades	Múltiplos y submúltiplos
Longitud	Metro (m)	Kilómetro (km) ($1 \text{ km} = 10^3 \text{ m}$) Centímetro (cm) ($1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$) Milímetro (mm) ($1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$)
Masa	Kilogramo (kg)	Gramo (g) ($1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$)

Tiempo	Segundo (s)	Tonelada (t) (1 t = 10 ³ kg) Hora (h) (1 h = 3600 s)
Temperatura	Grado Kelvin (°K)	
Fuerza	Newton (N) (1 N = 1 kg m/s ²)	Kilonewton (kN) (1 kN = 10 ³ N)
Presión	Pascal (Pa) (1 Pa = 1 N/m ²)	Megapascal (MPa) (1 MPa = 10 ⁶ Pa)
Tensión	Pascal (Pa) (1 Pa = 1 N/m ²)	Megapascal (MPa) (1 MPa = 10 ⁶ Pa)
Energía	Joule (J) (1 J = 1 N.m)	Kilojoule (kJ) (1 kJ = 10 ³ J)
Potencia	Watt (W) (1 W = 1 J/s)	Kilowatt (kW) (1 kW = 10 ³ W)

TABLA 1.2 NOTACIONES, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS CONVENCIONALES FUNDAMENTALES UTILIZADOS EN ESTAS RECOMENDACIONES

I.MAYÚSCULAS LATINAS		
SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDAD
A	Designación de categoría de tráfico pesado	---
B	Designación de categoría de tráfico medio alto	---
C	Designación de categoría de tráfico medio bajo	---
D	Designación de categoría de tráfico ligero	---
E	Módulo de elasticidad o de Young	MPa
E1	Designación de categoría de explanada aceptable	---
E2	Designación de categoría de explanada buena	---
E3	Designación de categoría de explanada muy buena	---
E ₁	Módulo de compresibilidad obtenido en el primer ciclo de ensayo de carga con placa	MPa
E ₂	Módulo de compresibilidad obtenido en el segundo ciclo de ensayo de carga con placa	MPa
H _a	Altura máxima de almacenamiento o estacionamiento	m

TABLA 1.2 NOTACIONES, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS CONVENCIONALES FUNDAMENTALES UTILIZADOS EN ESTAS RECOMENDACIONES (continuación)

I.MAYÚSCULAS LATINAS		
SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDAD
I _{1.1}	Índice de intensidad de uso en zonas de operación de uso	

	comercial para granel sólido	t/m
I _{1.2}	Índice de intensidad de uso en zonas de operación de uso comercial para mercancía general	t/m
I _{1.3}	Índice de intensidad de uso en zonas de operación de uso comercial para contenedores	TEU/m
I _{1.4}	Índice de intensidad de uso en zonas de almacenamiento de graneles sólidos	t/m ²
I _{1.5}	Índice de intensidad de uso en zonas de almacenamiento de mercancía general	t/m ²
I _{1.6}	Índice de intensidad de uso en zonas de almacenamiento de contenedores	TEU/m ²
I _{1.7}	Índice de intensidad de uso en zonas de almacenamiento de semirremolques.	TEU/ m ² ó t/m ²
I _{2.1}	Índice de intensidad de uso industrial en zona de operación	t/m
I _{2.2}	Índice de intensidad de uso industrial en zona de almacenamiento	t/m ²
I _{3.1}	Índice de intensidad de uso militar en zona de operación	t/m
I _{3.2}	Índice de intensidad de uso militar en zona de almacenamiento	t/m ²
I _{4.1}	Índice de intensidad de uso pesquero en zona de operación	t/m
I _{4.2}	Índice de intensidad de uso pesquero en zona de almacenamiento	t/m ²
I _{5.1}	Índice de intensidad de uso deportivo en zona de operación o varada	t/m
IP	Índice de plasticidad	%
K	Módulo de reacción o de balasto	MPa/m
LL	Límite líquido	%
Q	Carga	kN
Q _v	Carga de cálculo vertical	kN
Q _{v1}	Carga de cálculo vertical por área elemental	kN/m ²
II. MINÚSCULAS LATINAS		

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDAD
a	Radio de huella de carga circular	m
h	Espesor de capa de firme	m
k	Coefficiente de proporcionalidad	*
l	Radio de rigidez relativa de losa de hormigón	m
p_v	Presión vertical de cálculo	MPa

TABLA 1.2 NOTACIONES, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS CONVENCIONALES FUNDAMENTALES UTILIZADOS EN ESTAS RECOMENDACIONES (continuación)

III.GRIEGAS		
SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDAD
γ	Peso específico aparente de un material o mercancía estacionado o almacenado en las condiciones ambientales más desfavorables	kN/m ³
ν	Coefficiente de Poisson	*
$\sigma_{m\acute{a}x}$	Tensión máxima de tracción en una capa de firme	MPa
ϕ	Ángulo de rozamiento interno de un granel sólido	*
IV.ABREVIATURAS		
ABREVIATURA	SIGNIFICADO	
ASC	<i>Automated Stacking Crane</i>	
BC	Relleno de buena calidad consolidado	
BPA	<i>British Ports Association</i>	
BPF	<i>British Ports Federation</i>	
CBR	<i>California Bearing Ratio</i> (índice de capacidad de soporte)	
IP	Índice de plasticidad	
LL	Límite líquido	
MC	Relleno de mala calidad consolidado	
MO	Materia orgánica	
MTS	<i>Multi Trailer System</i>	
RC	Relleno de regular calidad consolidado	
RH	Relleno hidráulico	

RMG	<i>Rail Mounted Gantry</i>
ROM	Recomendaciones para Obras Marítimas
RTG	<i>Rubber Tyred Gantry</i>
SPT	Ensayo (<i>Standar Penetration Test</i>)
TEU	<i>Twenty Equivalent Unit</i>
T0	Tráfico alto
T1	Tráfico medio
T2	Tráfico bajo
UNCTAD	<i>United Nations Conference for Trade and Development</i>
VD	Vertido directo

(*) Magnitud adimensional

1.6 PRINCIPALES REFERENCIAS DOCUMENTALES

- [1] BRITISH PORTS ASSOCIATION (1988): "The structural design of heavy duty pavements for ports and other industries".
- [2] CAMARERO ORIVE, ALBERTO (1997): "Dimensionamiento de pavimentos para zonas de depósito de contenedores en superficies terrestres portuarias". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- [3] CAMARERO ORIVE, ALBERTO y GONZÁLEZ CANCELAS, NICOLETTA (2005): "Cadenas integradas de transporte". Fundación Agustín de Betancour.
- [4] DEL MORAL, R.; BERENQUER, J. M^a (1980): "Obras Marítimas". Curso de ingeniería de puertos y costas, tomo II, Centro de Estudios y Experimentación de Puertos y Costas.
- [5] DEPARTMENTS OF THE ARMY AND THE AIR FORCE (1999). Surface drainage facilities for airfields ad heliports.

- [6] DIRECCIÓN GENERAL DE PUERTOS Y COSTAS (1990): "Recomendaciones para obras marítimas ROM 0.2-90. Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias".
- [7] INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES (1989): "Manual de pavimentos de adoquines de hormigón".
- [8] KNAPTON, J. (1982): "An introduction port pavement design manual". Port Engineering. Cargo Systems.
- [9] KNAPTON, J. (1984): "Concrete block pavement design in the U.K.". Second International Conference on Concrete Block Paving. Delft. Vol. 1, pág. 129-138.
- [10] KNAPTON, J. (2008): "Heavy duty pavements. The structural design of heavy duty pavements for ports and other industries". Interpave, 4Edition. Diciembre de 2008.
- [11] KNAPTON, J. y BARBER, S.D. (1980): "Terminal surfacing-higher loads to support". Port Engineering. Cargo Systems.
- [12] KRAEMER, ET AL (2004). Ingeniería de carreteras. Mc Graw Hill. Volumen I y II.
- [13] MINISTERIO DE FOMENTO. (2001): "Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras (PG-4). Dirección General de Carreteras, Madrid.
- [14] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO (1989): "Instrucción 6.1 y 2 IC. Secciones de firme". Dirección General de Carreteras. Madrid.
- [15] PIANC (2015): "Design and maintenance of container terminal pavements". Report nº 165.
- [16] PUERTOS DEL ESTADO (1994): "Recomendaciones para el proyecto y construcción de pavimentos portuarios y otras superficies industriales". Recomendaciones para obras marítimas. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente.

- [17] PUERTOS DEL ESTADO (2001): "Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias". Recomendaciones para obras marítimas. Ministerio de Fomento.
- [18] PUERTOS DEL ESTADO (2005): "Recomendaciones geotécnicas para obras marítimas y portuarias". Recomendaciones para obras marítimas. Ministerio de Fomento.
- [19] PUERTOS DEL ESTADO (2011): "Recomendaciones para el proyecto y ejecución en obras de atraque y amarre". Recomendaciones para obras marítimas. Ministerio de Fomento.
- [20] UNCTAD (1989, 1990): "Container Terminal Pavement Management". Monografía nº 5 sobre Gestión de Puertos y suplemento a la Monografía nº 5. Naciones Unidas. Nueva York.
- [21] VANDEWALLE, M. (1990): "The use of steel fibre reinforced concrete in heavy duty for port pavements". Sexto Simposio Internacional sobre Carreteras de Hormigón. Madrid, 1990.
- [22] VIGUERAS, M. (1977): "El puerto y sus actividades". Curso de Explotación y Dirección de Puertos, tomo I, ETSICCP de Madrid

ÍNDICE

2.1 Introducción

2.2 Uso comercial

2.2.1 Zonas de operación

2.2.2 Zonas de almacenamiento

2.2.3 Vías de comunicación

2.2.4 Zonas complementarias

2.3 Otros usos

2.3.1 Uso industrial

2.3.2 Uso militar

2.3.3 Uso pesquero

2.3.4 Uso deportivo

USOS DE LAS SUPERFICIES TERRESTRES PORTUARIAS

Se clasifican, a los efectos de su pavimentación, las diferentes zonas que se pueden distinguir en un puerto, cualquiera que sea su uso, y no sólo las relacionadas directamente con la transferencia entre el modo de transporte marítimo y el terrestre, sino también las destinadas a la circulación y estacionamiento de vehículos de carretera.

2.1 INTRODUCCIÓN

El proyecto de los firmes y pavimentos portuarios requiere una clasificación de las superficies atendiendo en primer lugar al uso que se vaya a hacer de las mismas (comercial, industrial, militar, pesquero y deportivo o de recreo) y, a continuación, en función del tipo de actividad que se vaya a realizar en ellas (operación, almacenamiento, etc.). Por otro lado, hay que considerar las zonas complementarias y las vías que conectan las diversas zonas entre sí y con la red de carreteras. En la tabla 2.1 se resume la clasificación de las superficies terrestres portuarias realizada de acuerdo con lo que se establece en la ROM 0.2-90.

2.2 USO COMERCIAL

En el uso comercial se incluyen todas las actividades portuarias de intercambio entre los modos transporte terrestre y marítimo y de manipulación y almacenamiento de mercancías siempre que el principal fin sea el comercio, ya sea nacional o internacional. Con carácter general se pueden distinguir las zonas de operación y las de almacenamiento, así como las vías de comunicación y las zonas complementarias. El uso comercial se caracteriza fundamentalmente por el tipo de mercancías que se manipulan y la forma de presentación de las mismas:

- Graneles líquidos
- Graneles sólidos ordinarios
- Graneles sólidos pesado

TABLA 2.1 USOS DE LAS SUPERFICIES TERRESTRES PORTUARIAS

USOS	ZONAS	SITUACIONES
COMERCIAL Graneles líquidos Graneles sólidos ordinarios Graneles sólidos pesados Mercancía general convencional Mercancía general pesada Mercancía general unificada Contenedores Semirremolques y ro-ro Otros tráficos	OPERACIÓN	Por rodadura
		Por elevación
		Por rodadura y elevación
		Por sistemas continuos
	ALMACENAMIENTO	Depósito
		Circulación de equipos de movilidad no restringida
		Circulación de equipos de movilidad restringida
	VÍAS DE COMUNICACIÓN	Vías de maniobra
		Viales de acceso
	COMPLEMENTARIAS	Circulación
		Estacionamiento

INDUSTRIAL	Análogo a uso comercial para mercancía general pesada	
MILITAR	Análogo a uso comercial para mercancía general convencional y cargas ro-ro	
PESQUERO	OPERACIÓN	Pesca de bajura
		Pesca de altura
	CLASIFICACIÓN, PREPARACIÓN Y VENTA	Clasificación y preparación
		Depósitos
		Lonjas
	VÍAS DE COMUNICACIÓN	Vías de maniobra
		Viales de acceso
	COMPLEMENTARIAS	Circulación
		Estacionamiento
	DEPORTIVO O DE RECREO	OPERACIÓN Y VARADA
Pequeñas embarcaciones		
COMPLEMENTARIAS		Circulación
		Estacionamiento

Fuente: Elaboración propia

- Mercancía general convencional
- Mercancía general pesada
- Mercancía general unificada
 - Contenedores
- Semirremolques y otras cargas ro-ro
- Otros tráficos

2.2.1 Zonas de operación

Están destinadas a la transferencia y manipulación de mercancías, materiales o suministros, sin que se produzca acumulación duradera de éstos. En ellas se produce el cambio de modo de transporte. Las zonas de operación se pueden caracterizar por la forma principal en que se manipule la mercancía:

- Por rodadura
- Por elevación
- Por rodadura y elevación
- Por sistemas continuos

A efectos de su pavimentación deben considerarse especialmente las situaciones en las que principalmente hay circulación de equipos de manipulación de mercancías, tanto los de circulación restringida (neumáticos sobre viga carril y equipos sobre carriles, incluyendo los vagones ferroviarios), como sobre todo los de circulación no restringida (sobre neumáticos o sobre orugas).

Si no existiera planificación previa o criterios específicos del cliente o de la Autoridad Portuaria, se adoptará como zona de operación la franja paralela al cantil de una obra de atraque que se extiende desde éste hasta 5 m más allá del eje del camino de rodadura de la pata interior de la grúa sobre carriles más interior; en cualquier caso, se adoptará una anchura no inferior a 15 m. La existencia de esta zona está condicionada a la verificación de que el proceso de transferencia de mercancías obligue a su utilización exclusivamente para estacionamientos transitorios; en caso contrario, no se diferenciará entre zona de operación y zona de almacenamiento.

2.2.2 Zonas de almacenamiento

Son zonas destinadas a la permanencia durante días de mercancías o suministros, permitiendo el acopio de los mismos. Esta zona se puede considerar como la no incluida en la zona de operaciones. En las zonas de almacenamiento se pueden distinguir diversas situaciones en función de que las superficies estén destinadas al depósito o almacenamiento propiamente dicho o a la circulación de los equipos (ya sean de movilidad restringida o no restringida), si bien en muchas ocasiones puede no existir esta diferenciación.

Por otro lado, la clasificación de las zonas de almacenamiento se puede hacer atendiendo a diversas consideraciones:

- Cubiertas o descubiertas; las zonas cubiertas pueden ser a su vez abiertas o cerradas.
- Según la altura de apilamiento.
- Por el tiempo de estancia de la mercancía.
- Por la naturaleza de la mercancía (minerales, bobinas, chatarra, etc.)
- Por la forma de presentación de la mercancía (mercancía general, graneles sólidos, contenedores, etc.)

De acuerdo con este último criterio, las zonas de almacenamiento consideradas con un mayor detalle en este documento, a los efectos de su pavimentación, son las siguientes:

2.2.2.1 Almacenamiento de graneles líquidos

La manipulación de estos materiales se realiza de manera continua por medio de instalaciones específicas y su almacenamiento en depósitos o tanques con una variada tipología. Los problemas que pueden plantear el apoyo y la cimentación de dichos depósitos se sitúan fuera del ámbito de estas Recomendaciones.

Sin embargo, pueden existir zonas pavimentadas para la circulación y estacionamiento de cisternas sobre camión. Al tratarse de vehículos de carretera el enfoque que ha de darse es el mismo que más adelante se indica para los viales de acceso, salvo en lo que se

refiere a la protección superficial frente a eventuales derrames de combustibles, aceites u otras sustancias.

A efectos de pavimentación de superficies recibirán idéntico tratamiento los graneles sólidos que con aspecto pulverulento se manipulen con sistemas continuos y se almacenen en silos.

2.2.2.2 Almacenamiento de graneles sólidos

Son zonas en las que se almacenan no ensilados, por un lado, graneles sólidos ordinarios (de peso específico bajo y medio, entre los que destacan por su volumen en el transporte marítimo los cereales y demás productos alimenticios) y, por otro, graneles sólidos pesados (como, por ejemplo, mineral de hierro, chatarra, etc.). Los acopios, cónicos o troncopiramidales, transmiten cargas relativamente reducidas al pavimento, aun en el caso de los graneles pesados, pero en cambio los equipos de manipulación (palas y cucharas) pueden transmitir cargas apreciables y además erosionar la superficie.

2.2.2.3 Almacenamiento de mercancía general

Hay que distinguir en función de que se trate de mercancía general convencional o pesada. En el primer caso, las alturas de apilamiento (de sacos, barriles, balas, cajas, parrillas, etc.) son relativamente pequeñas, con calles de separación, produciéndose cargas moderadas, aunque no tanto las que producen los equipos de manipulación (carretillas, por ejemplo). Entre la mercancía general pesada se pueden citar los bloques de piedra, los troncos, los perfiles laminados, las bobinas de acero, etc. En algunos casos las cargas sobre el pavimento se incrementan al disponer de elementos de apoyo de la mercancía sobre el pavimento (durmientes).

2.2.2.4 Almacenamiento de contenedores

Son zonas descubiertas donde se almacenan contenedores directamente sobre el pavimento o sobre otros contenedores. Las alturas máximas más usuales de almacenamiento son de 3 a 5 unidades (7,5 a 12 m), en función del espacio disponible, el sistema de distribución y el equipo de manipulación empleado. La forma de almacenamiento en planta puede ser aislada, en fila simple o en bloque (fila múltiple), necesitándose en

los dos primeros casos anchuras mínimas de 10 a 15 m, en función del tipo de contenedores y del sistema de manipulación empleado. En estas zonas se producen unas cargas concentradas de gran magnitud.

2.2.2.5 *Estacionamiento de semirremolques*

A los efectos del dimensionamiento de los firmes en estas zonas no se consideran incluidas las destinadas al estacionamiento exclusivo de vehículos de carretera, sino sólo de los grandes remolques cuyas cargas se analizan en la Parte 3. Se trata de zonas en las que se produce la descomposición de las cargas en remolque y cabeza tractora. Mientras el remolque (que carga una caja móvil o bien uno o varios contenedores; a veces, con caja abierta, otro tipo de elementos como pueden ser bobinas) queda estacionado a la espera del traslado, la cabeza tractora marcha por otro remolque. Con esta forma de movimiento de la mercancía puede no requerirse ningún equipo adicional de manipulación, con lo que las únicas instalaciones singulares serían las rampas entre buque y tierra o entre muelle y ferrocarril.

Los remolques tienen anchuras de 2,5 m y longitudes de 20 pies (6 m) o de 40 pies (12 m). El estacionamiento es en batería o en espina de pez, con área de estacionamiento de 3,50 x 15 m² y una calle adyacente de 6 m a 16,50 m (esta última anchura es la necesaria para poder girar en ángulo recto al entrar o salir).

El tratamiento de estas zonas se puede hacer de dos formas diferentes. La primera consiste en tratar homogéneamente toda la superficie, con lo que no se condiciona en absoluto la explotación. La segunda forma consiste en dar a dicha superficie idéntico tratamiento que, a los viales de acceso, salvo en franjas (de 1 m de anchura) para el apoyo específico de la parte delantera de los semirremolques desenganchados de los tractores.

2.2.3 Vías de comunicación

Están destinadas exclusivamente al tránsito de mercancías, materiales o suministros desde las zonas de operación hasta las de almacenamiento y desde éstas entre sí y hasta las zonas exteriores al puerto, así como los procesos inversos. También canalizan el tráfico

que sirve a las obras marítimas y enlazan con las redes de transporte terrestre. Se pueden distinguir las vías de maniobra por un lado y los viales de acceso por otro.

Las vías de maniobra unen zonas de operación con zonas de almacenamiento o cada una de ellas entre sí, estando principalmente destinadas a la circulación de equipos de manipulación de mercancías. Por su parte, los viales de acceso unen las zonas de operación o almacenamiento con otras exteriores al puerto, o sirven a zonas sin manipulación de mercancías, estando destinados con carácter general y preferente al tráfico rodado convencional. A efectos de pavimentación, los viales de acceso recibirán un tratamiento idéntico al de las carreteras o vías de circulación general, pudiendo ser por tanto de aplicación directa en ellos la Instrucción 6.1 y 2 IC de secciones de firme.

2.2.4 Zonas complementarias

Están excluidas del tráfico de mercancías, materiales o suministros. Son fundamentalmente zonas urbanizadas, con edificios y dependencias administrativas, o bien zonas de paseo y esparcimiento. También se incluyen entre las zonas complementarias las dedicadas al estacionamiento tanto de vehículos pesados como ligeros.

Aunque tanto las superficies destinadas a la circulación como las destinadas al estacionamiento soportan sólo las cargas procedentes de vehículos de carretera, el carácter especial de dichas superficies no hace aconsejable la aplicación directa en ellas de la Instrucción 6.1 y 2 IC de secciones de firme. En estas Recomendaciones se dan soluciones específicas, aunque también se puede recurrir a otras opciones habituales en las vías públicas urbanas.

2.3 OTROS USOS

2.3.1 Uso industrial

Se entiende por uso industrial el que es exclusivo de una industria o zona industrial (astilleros, centrales térmicas, siderúrgicas, refinerías, petroquímicas, etc.). A falta de criterios específicos, el tratamiento de las superficies de uso industrial será en todo análogo al uso comercial para mercancía general pesada.

2.3.2 Uso militar

Es el relacionado directamente a los buques de uso militar. En las zonas de uso militar son de prever algunas acciones especialmente agresivas, como las derivadas por ejemplo del tránsito de vehículos con orugas. A falta de criterios específicos, el tratamiento de las superficies de uso militar será en todo análogo al uso comercial para mercancía general convencional y cargas ro-ro

2.3.3 Uso pesquero

Es el relacionado directamente con la actividad pesquera. En estas zonas no sólo tiene lugar el paso de la pesca, sino que es donde se abastecen y atracan las embarcaciones. Además, son centro de contratación de la pesca, punto de partida para su distribución y comercio y emplazamiento de las industrias derivadas o auxiliares. La mayor parte de las instalaciones no necesitan unos pavimentos con requerimientos especiales, pero en algunas de ellas existen los derivados de exigencias especiales de higiene. Se pueden distinguir las zonas que se indican a continuación.

2.3.3.1 Zonas de operación

Donde se produce la manipulación de la pesca y el cambio del modo de transporte marítimo al terrestre. Una diferencia de situaciones viene dada en función de si se trata de pesca de bajura o de altura, por cuanto las acciones que pueden actuar sobre los pavimentos son diferentes en cada caso.

2.3.3.2 Zonas de clasificación, preparación y venta

En estas zonas es donde se clasifica y prepara la pesca, se procede a su venta (lonjas), se almacena para su posterior exportación (depósitos) y donde se carga el pescado a los camiones para su distribución terrestre.

2.3.3.3 Vías de comunicación

Igual que en el uso comercial hay que distinguir las vías de maniobra y los viales de acceso.

2.3.3.4 Zonas complementarias

Igual que en el uso comercial hay que distinguir las superficies destinadas preferentemente a circulación y las destinadas preferentemente a estacionamiento.

2.3.4 Uso deportivo

Comprende todas las instalaciones con abrigo natural o artificial en las que se realiza una función específica de deporte y recreo, incluyendo las denominadas marinas, complejos náutico-residenciales, embarcaderos deportivos, puertos islas, etc. En cuanto a la clasificación de sus superficies terrestres portuarias cabe considerar:

2.3.4.1 Zonas de operación o varada

Comprenden las destinadas a los accesos de muelles y las adyacentes a las rampas de varada, así como los talleres y almacenes de embarcaciones.

2.3.4.2 Zonas complementarias

Destinadas al club náutico, comercios, etc. Incluyen las zonas de estacionamiento de vehículos y los edificios ligados directamente a la explotación portuaria.

CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS EN LAS SUPERFICIES PORTUARIAS

ÍNDICE

3.1 ESTUDIO DE CARGAS

3.1.1 Cargas de estacionamiento o almacenamiento

3.1.1.1 Cargas de almacenamiento de graneles sólidos

3.1.1.2 Cargas de almacenamiento de mercancía general no contenerizada y de mercancía general contenerizada

3.1.2 Cargas de los equipos de manipulación de mercancías

3.1.2.1 Cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida

3.1.2.2 Cargas transmitidas por equipos de movilidad restringida

3.1.2.3 Cargas mínimas recomendadas

3.2 ÍNDICES DE INTENSIDAD DE USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS

3.2.1 Uso comercial

3.2.2 Otros Usos

3.3 CARGAS DE CÁLCULO SEGÚN EL USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS

3.3.1 Uso comercial

3.3.1.1 Zonas de operación

3.3.1.2. Zonas de almacenamiento

3.3.1.3 Otras zonas

3.3.2 Otros usos

3.3.2.1 Zonas de operación

3.3.2.2. Zonas de almacenamiento

3.3.2.3 Otras zonas

3.4 CATEGORÍAS DE TRÁFICO

CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS EN LAS SUPERFICIES PORTUARIAS

3.1 ESTUDIO DE CARGAS

Entre las cargas que afectan a las superficies portuarias se pueden distinguir por un lado las que transmiten al pavimento los materiales o mercancías acopiados o almacenados en una determinada superficie (cargas de estacionamiento o almacenamiento), y por otro las cargas que aplican los equipos que se emplean en la manipulación de dichos materiales o mercancías (cargas de manipulación).

3.1.1 Cargas de estacionamiento o almacenamiento

Son cargas de naturaleza variable, debidas fundamentalmente al peso de mercancías almacenadas, bien directamente sobre la superficie o bien en el interior de elementos auxiliares para su transporte (contenedores, semirremolques, etc.), siendo su actuación y distribución constantes durante un cierto período de tiempo. El valor de la acción se determina teniendo en cuenta el uso previsto para la superficie, la zona de la misma en que actúa y la forma en que solicita al firme, es decir, según los siguientes factores:

- Naturaleza de la mercancía depositada o apilada, con sus características físicas como pueden ser, por ejemplo, el peso específico y el ángulo de rozamiento interno.
- Forma de presentación de la mercancía (mercancía general, graneles sólidos, contenedores, semirremolques, etc.).
- Forma y dimensiones de los acopios y apilamientos.
- Tonelaje o volumen máximos que pueden manipularse.
- Métodos y equipos de manipulación.

Estas cargas se consideran verticales, repartidas o concentradas según la naturaleza de la mercancía apilada o almacenada y su forma de apoyo. A los efectos del dimensionamiento, se consideran cargas repartidas las debidas al almacenamiento de graneles sólidos y, salvo algunos casos, de mercancía general; por el contrario, se

consideran como concentradas las cargas aplicadas por contenedores y semirremolques, así como también las debidas a productos manufacturados apoyados sobre durmientes.

3.1.1.1 Cargas de almacenamiento de graneles sólidos

Se considera el máximo peso de los materiales por unidad de superficie, transitoriamente estacionados en la zona de operación, o almacenados en la zona de almacenamiento en las condiciones de acopio previstas. Si se denomina Q_{v1} a la carga por área elemental se tomará para cada material:

$Q_{v1} = \gamma \cdot H_a$ (kN/m²), siendo:

- γ el peso específico aparente del material estacionado o almacenado en las condiciones ambientales más desfavorables en kN/m³. Los valores de dichos pesos específicos y del correspondiente talud natural de los graneles sólidos ($\text{tg } \Phi$, siendo Φ el ángulo de rozamiento interno del material), que determina la superficie de apoyo para la altura máxima, están recogidos en la tabla 3.1.
- H_a la altura máxima de almacenamiento o estacionamiento transitorio del material considerado en metros. Depende fundamentalmente de la zona considerada y uso de la misma, de la naturaleza y tipo de material, de las instalaciones y métodos de manipulación y del lugar de almacenamiento. Los valores más usuales de H_a están recogidos en la tabla 3.2.

A falta de criterios específicos de proyecto o de explotación se tomarán como presiones de contacto de graneles sólidos sin instalación específica de almacenamiento los siguientes valores:

En zonas de operación:

- Para graneles ordinarios o pulverulentos: 0,066 MPa.
- Para graneles pesados o minerales: 0,09 MPa.

En zonas de almacenamiento o estacionamiento:

- Para graneles ordinarios o pulverulentos: 0,22 MPa.
- Para graneles pesados o minerales: 0,45 MPa.

TABLA 3.1. PESOS ESPECÍFICOS APARENTES Y ÁNGULOS DE ROZAMIENTO INTERNO DE MERCANCÍAS Y SUMINISTROS USUALES ESTACIONADOS O ALMACENADOS EN ZONAS PORTUARIAS, SEGÚN FORMA DE PRESENTACIÓN

GRANELES	γ_{ap} (kN/m³)	Φ (°)	MERCANCÍAS APILADAS	γ_{ap} (kN/m³)
GRANELES SÓLIDOS				
MINERALES			MINERALES	
Alumina	17	35	Bauxita (en sacos)	9
Mineral de aluminio (bauxita)	14	50 (hum) 28 (séc)	Mineral de cromo (en cajas)	25
Mineral de cobre (piritas)	26	45	Mineral de manganeso (en sacos)	15
Mineral de cromo	26	40	Mineral de níquel (en sacos)	16,5
Mineral de estaño (casiterita)	20	38	Mineral de níquel (en barriles)	14,5
Mineral de hierro (limonita y magnetita)	30	40	PRODUCTOS METALÚRGICOS Y SIDERÚRGICOS	
Mineral de magnésio	15	35	Acero (en barras)	30
Mineral de manganeso	24	45	Acero (en bobinas)	28
Mineral de plomo (galena)	28	40	Acero (en lingotes)	36
Mineral de zinc (blenda)	18	38	Acero (en planchas)	35
Pirita tostada	14	45	Aluminio (en lingotes)	12,5
PRODUCTOS QUÍMICOS			Cobre (en bobinas)	11
Abonos artificiales	12	40	Cobre (en lingotes)	35
Abonos minerales	12	30	Cobre (en planchas)	35
Azufre	12	40	Estaño (en lingotes)	34
Carburo	9	30	Zinc (en lingotes)	25
Fosfatos	11	35		
Potasas	11	35		
COMBUSTIBLES SÓLIDOS			COMBUSTIBLES SÓLIDOS	
Briquetas de lignito amontonadas	8	30	Briquetas de lignito (apiladas)	13
Carbón de leña en trozos	4	45	Turba (en pacas)	5
Coque de hulla	5	40		
Hulla en bruto húmeda	10	45		
Hulla pulverizada	7	25		

GRANELES	γ_{ap} (kN/m ³)	Φ (°)	MERCANCÍAS APILADAS	γ_{ap} (kN/m ³)
Hulla en residuos de lavadero	12	0		
Hulla en otras formas	8,5	30		
Leña en astillas	2	45	PRODUCTOS QUÍMICOS	
Leña troceada	4	45	Azufre (en sacos)	10
Lignito seco	7	35	Azufre (en barriles)	7,5
Lignito húmedo	10	40	Fertilizantes (en sacos)	9
Serrín de madera asentado o húmedo	5	45	Potasas (en sacos)	10
Serrín de madera suelto	2,5	45		
Turba seca	1,0	35		
Turba Húmeda	9,5	-		
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN			MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
Arena seca	17	30	Arena (en cajas)	6
Arena saturada	20	30	Caolín (en sacos)	7,7
Arena de pómez	7	35	Cemento (en sacos)	15
Cal en polvo	13	25	Cemento (en barriles)	10
Cal en terrón	13	45	Yeso (en sacos)	8,3
Caolín	9.5	35	MADERAS Y DERIVADOS	
Cascote o polvo de ladrillos	13	35	Caucho (en balas, sacos o cajas)	5
Cemento en polvo	16	25	Caucho (en láminas)	6
Cenizas volantes	14	25	Corcho	2,4
Clinker de cemento	15	30	Madera blanda	7
Escoria de alto horno granulada	12	25	Madera dura	10
Escoria de alto horno troceada	17	40	Papel (en bobinas)	15
Escoria machacada espumada	9,0	35	Papel (en fardos)	11
Granito labrado	13	35	Pasta de papel (balas prensadas)	6
Grava seca	16	40	Serrín (en sacos)	3
Grava saturada	20	40	Tableros	6,5
Mármol labrado	13	35	Traviesas	7,7
Piedra caliza (en rocas)	17	35	PRODUCTOS ALIMENTICIOS	
Piedra partida	18	40	Arroz (en barriles)	5,3

GRANELES	γ_{ap} (kN/m ³)	Φ (°)	MERCANCÍAS APILADAS	γ_{ap} (kN/m ³)
Yeso y escayola	15	25	Arroz (en sacos)	7
PRODUCTOS DE DESECHO			Avena (en sacos)	4,3
Basuras de demolición	13	35	Azúcar (en sacos)	16
Escombros urbanos	6	-	Bebidas (en barriles)	6
Estiércol apelmazado	18	45	Café (en sacos)	5,5
Estiércol suelto	12	45	Carne congelada (en cajas)	4,8
Chatarra pesada	16	35	Carne congelada (en sacos)	4,4
Chatarra ligera	12	30	Carne en lata (en cajas)	6
PRODUCTOS ALIMENTICIOS			Cebada (en sacos)	6
Azúcar	10	35	Centeno (en sacos)	6,3
Carne congelada	3,5	-	Cocos (en cajas)	4
Cereales: Arroz	6	25	Cocos (en sacos)	5,3
Cereales: Avena	5	30	Cítricos (en cajas)	4
Cereales: Cebada	6,5	25	Haba de soja (en sacos)	7,2
Cereales: Centeno	8	35	Harinas (en barriles)	6,6
Cereales: Maíz	7,5	25	Harinas (en sacos)	8,5
Cereales: Mijo	7	25	Huesos (en sacos)	6
Cereales: Trigo	7,5	25	Leche condensada (en barriles)	5
Colza	7	25	Leche condensada (en cajas)	5
Forrajes	1,7	-	Leche en polvo (en sacos)	5,3
Frutas y hortalizas	7,5	30	Maíz (en sacos)	6,5
Haba de soja	8,5	60	Mantequilla (en barriles o cajas)	6
Harina de cereal o soja	6	45	Pescado fresco-congelado en (cajas)	5
Harina de pescado	8	45	Plátanos (en cajas)	2,6
Hielo (en bloques)	8,5	-	Queso (en cajas)	7
Huesos	4	-	Sal (en cajas)	7
Legumbres	8	30	Sal (en sacos)	9
Malta triturada	4	45	Semillas de girasol (en cajas)	5
Piensos	5	45	Semillas de girasol (en sacos)	4,8
Remolacha azucarera desecada y cortada	3	40	Tapioca (en sacos)	6,5
Sal común	12	40	Té (en fardos)	3,5

GRANELES	γ_{ap} (kN/m ³)	Φ (°)	MERCANCÍAS APILADAS	γ_{ap} (kN/m ³)
Sal de roca	22	45	Trigo (en sacos)	6,5
Semillas de girasol	5,5	-	Tubérculos (en cajas)	4
Sémola	5,5	30	Tubérculos (en sacos)	6
Tubérculos	7,5	30	Uvas (en cajas)	2,5
PRODUCTOS VEGETALES			Vegetales (en cajas)	6
Lino	6	25	Vegetales (en sacos)	5
GRANELES LÍQUIDOS			PRODUCTOS ANIMALES Y	
PRODUCTOS PETROLÍFEROS			VEGETALES	
Alquitrán	10-13	-	Algodón (en balas)	3,7
Betún	14	-	Esparto (en balas)	2,5
Crudo de petróleo	10-12	-	Heno (en pacas)	3
Fueloil	8-10	-	Heno (en balas)	7
Gasoil	8	-	Lana (en balas prensadas)	13
Gasolina	7,5	-	Pieles húmedas (en balas)	5,5
Gases licuados (gas natural, metano,...)	*	-	Pieles secas (en balas)	2
Keroseno	8,3	-	Pieles secas (en balas prensadas)	10
PRODUCTOS QUÍMICOS			Tabaco (en pacas)	5,0
Acido clorhídrico al 40 %	12	-	PRODUCTOS PETROLÍFEROS	
Acido nítrico al 40 %	12,5	-	Productos petrolíferos (en barril)	5
Acido sulfúrico al 50 %	14	-	ACEITES	
Acetona	8	-	De pescado (en barriles)	6
Alcohol etílico	8	-	Látex (en barriles)	7
Anilina	10	-	Melazas (en barriles)	5,5
Bencina	7	-	Vegetales (en barriles)	5,5
Benzol	9	-		
Sulfuro de carbono	13	-		
ACEITES				
De creosota	11	-		
De linaza	9,5	-		
De minerales	9,3	-		

GRANELES	γ_{ap} (kN/m ³)	Φ (°)	MERCANCÍAS APILADAS	γ_{ap} (kN/m ³)
De pescado	9	-		
De ricino	9,7	-		
Glicerol (glicerina)	12,3	-		
Látex	10	-		
Melazas	12,5	-		
Vegetal	9,2	-		
VINOS, BEBIDAS Y DERIVADOS				
Agua: dulce	10	-		
Agua: salada	10,1	-		
Cerveza	10,1	-		
Leche	10,1	-		
Vino	10	-		
NOTAS				
* Para la determinación de las cargas transmitidas por el almacenamiento de gases licuados, el peso específico y la altura de almacenamiento no serán parámetros significativos. El parámetro significativo será la presión utilizada por la instalación de almacenamiento para mantener el gas licuado.				

Fuente: ROM 2.0-11.

TABLA 3.2. ALTURAS MÁXIMAS USUALES DE APILAMIENTO DE MERCANCÍAS Y SUMINISTROS EN EXPLANADAS EXTERIORES DE ÁREAS PORTUARIAS (considerando condiciones tipo de explotación)

USOS	NATURALEZA Y TIPO DE MERCANCÍA O SUMINISTRO	$H_{a,max}$ (en m)	
		En área de operación	En área de almacenamiento
	GRANELES LÍQUIDOS SIN INSTALACIÓN ESPECÍFICA DE ALMACENAMIENTO		
	En barriles	2,00	5,00

COMERCIAL	GRANELES SÓLIDOS SIN INSTALACION ESPECÍFICA DE ALMACENAMIENTO		
	Ordinarios o pulverulentos	3,00	10,00
	Pesados (minerales)	3,00	15,00
	MERCANCÍA GENERAL CONVENCIONAL		
	Paletizada	2,00	5,00
	No paletizada: Ordinaria	3,00	7,00
	No paletizada: Pesada	2,00	5,00
	Vehículos vacíos (sin instalación específica de almacenamiento)	1,50 (1 altura)	1,50 (1 altura)
	CONTENEDORES		
	Estacionamiento y almacenamiento sin plataforma o semirremolque	5,00 (2 alturas)	5,00-12,00 (2-5 alturas)
	SUMINISTROS PASAJEROS		
Paletizados	2,00	-	
No paletizados	3,00	-	
PESQUERO	Pescado (en cajas) y suministros	2,00	2,50
NAUTICO-DEPORTIVO	Suministros	1,00	2,00
INDUSTRIAL	¹⁾	3,00 ¹⁾	3,00 ¹⁾
MILITAR	Suministros	3,00	3,00
NOTA:			
¹⁾ Las alturas que se incluyen en esta tabla son de aplicación para obras de atraque de instalaciones dedicadas tanto a la construcción y reparación de buques como de plataformas <i>offshore</i> . Para otros usos industriales asociados con la recepción o salida de materias primas, así como de productos elaborados, coincidirán con las correspondientes establecidas para el uso comercial equivalente.			

Fuente: ROM 2.0-11.

3.1.1.2 Cargas de almacenamiento de mercancía general no contenerizada y de mercancía general contenerizada

Para el almacenamiento de mercancía general no contenerizada se considera el máximo peso de las mercancías por unidad de superficie, transitoriamente estacionadas en la zona de operación, o almacenadas en la zona de almacenamiento en las condiciones de estiba

previstas. Estas cargas son las que hay que tener en cuenta no sólo en las correspondientes zonas de uso comercial (mercancía general pesada o convencional) sino también, a falta de criterios específicos de proyecto, en las de uso industrial (mercancía general pesada) y de uso militar (mercancía general convencional). Si se denomina Q_{v1} a la carga por área elemental se tomará para cada mercancía:

$Q_{v1} = \gamma \cdot H_a$ (kN/m²), siendo:

- γ el peso específico aparente de la mercancía estacionada o almacenada en las condiciones ambientales más desfavorables en kN/m³. Los valores de dichos pesos específicos se pueden obtener en la tabla 3.1.
- H_a la altura máxima de almacenamiento o estacionamiento transitorio de la mercancía considerada en metros. La cual depende fundamentalmente de la zona considerada y uso de la misma, la naturaleza y tipo de mercancía, la forma de estacionamiento o almacenamiento, las instalaciones y métodos de manipulación y el lugar de almacenamiento. Los valores usuales de H_a se muestran en la tabla 3.2.

A falta de criterios específicos de proyecto o de explotación se tomarán las cargas y presiones de contacto consignadas en la tabla 3.3 para el almacenamiento de mercancía general convencional:

TABLA 3.3 CARGAS Y PRESIONES DE ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍA GENERAL EN ZONAS DE OPERACIÓN Y EN ZONAS DE ALMACENAMIENTO O ESTACIONAMIENTO

MERCANCÍA	En zonas de operación	En zonas de almacenamiento o estacionamiento
Paletizada ordinaria	43,2 kN y 0,34 MPa	108 kN y 0,83 MPa
Paletizada pesada ^a	104 kN y 0,8 MPa.	260 kN y 2,0 MPa
No paletizada ordinaria	0,045 MPa	0,105 MPa
No paletizada pesada ^a	0,072 MPa	0,18 MPa
Vehículos vacíos sin instalación específica de almacenamiento	0,015 MPa	0,015 MPa
<p>NOTAS</p> <p>^a productos minerales, metalúrgicos y siderúrgicos. También se debe tener presente que pueden existir cargas concentradas producidas por mercancía manufacturada NO CONVENCIONAL (productos siderúrgicos, prefabricados de hormigón, etc. apoyados sobre durmientes) con presiones de contacto de hasta 2,5 MPa.</p>		

Fuente: Elaboración propia

Para el almacenamiento de mercancía general contenerizada se considera que las cargas se transmiten al firme por elementos de apoyo de 0,178 x 0,162 m² situados en las esquinas, los cuales sobresalen de su cara inferior 0,0125 m y son empleados para aislar del suelo la mercancía y facilitar su manipulación. En ocasiones, cuando existen apilamientos de varios contenedores en altura y, sobre todo, cuando se apoyan sobre una superficie flexible, se pueden producir contactos con el pavimento en otros puntos distintos de las esquinas, llamados puntos de descarga (esta situación no se da sin embargo en el caso de los contenedores frigoríficos, puesto que los largueros inferiores son más rígidos).

Las cargas totales de los contenedores son muy variables. Para un contenedor de 20 pies la carga máxima es de unos 200 kN, pero se puede estimar que la carga media no supera los 130 kN. Por su parte, para un contenedor de 40 pies la carga máxima es de unos 300 kN, pudiéndose estimar una carga media no superior a 200 kN.

Las presiones de contacto sobre el pavimento dependen de la carga, de la forma de almacenar los contenedores (aislados, en fila simple, en fila múltiple o bloque), de las alturas empleadas (de una a cinco alturas normalmente), de la flexibilidad o rigidez del propio pavimento y de que se produzcan o no los citados puntos de descarga.

Las formas de almacenamiento (distribución en planta y alturas) dependen directamente de criterios logísticos y de explotación de la instalación y de los equipos de manipulación empleados. A falta de criterios específicos en la tabla 3.4 se indican las distribuciones y alturas máximas a considerar según los equipos de manipulación que se empleen. En el caso de filas o bloques, la separación o distancia libre entre dos contenedores contiguos puede variar entre ser prácticamente nula (lo que ocurre normalmente cuando se trata de contenedores vacíos) a ser de 0,40 o 0,80 m para permitir la lectura de los códigos que llevan escritos en los laterales (lo que ocurre normalmente cuando se trata de contenedores llenos).

TABLA 3.4 FORMA DE DISTRIBUCIÓN Y ALTURAS MÁXIMAS EN EL ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

EQUIPO DE MANIPULACIÓN	FORMA DE DISTRIBUCIÓN	ALTURA MÁX. Nº CONTENEDORES
Cargador frontal (Front Lift Truck)	Filas simples o dobles	4
Cargador lateral (Side Loader lift truck)	Filas simples o dobles	4
Carretilla pórtico (Stradle Carriers)	Filas simples	4
Carretilla lanzadera (Shuttle Carriers)		2
Grúa automóvil	Bloque pequeño	4
Apilador de alcance	Filas múltiples	5
<i>Pórticos de almacenamiento: Transtainer</i> (Luz media, < 30 m). Sobre neumáticos o raíles	Bloque mediano	6
<i>Pórticos de almacenamiento: Transtainer</i> (Luz grande, > 30 m). Sobre raíles	Bloque grande	6
NOTAS		

Se han considerado como unidad de medida el contenedor equivalente de 20 pies de longitud TEU (Twenty Equivalent Unit). Los contenedores más habituales actualmente son los que tienen 20 pies (1 TEU) y 40 pies (2 TEU). Existen también contenedores de 10 pies (0,5 TEU), de 30 pies (1,5 TEU) y están comenzando a utilizarse los de 50 pies (2,5 TEU). El TEU también se utiliza como unidad de medida del transporte de cajas móviles sobre semirremolques.

Fuente: Elaboración propia

A falta de datos específicos establecidos en el proyecto, la carga a considerar para el dimensionamiento de los firmes en las zonas de almacenamiento de contenedores será la correspondiente a apilamientos de 40 pies en bloques de cinco alturas lo que supone una carga de cálculo de 1.485 kN aplicada en un área de 0,356 x 0,324 m² ejerciendo una presión sobre el pavimento de 12,1 MPa. Sin embargo, la probabilidad de que todos los contenedores estén totalmente cargados en altura es en principio relativamente pequeña siendo más habitual esta situación en 3 alturas, lo que se traduce en una carga en cada apoyo interior del bloque de 925 kN y una presión de 7,6 MPa.

Estas cargas y presiones tan sumamente elevadas hacen que sólo con ciertos pavimentos como adoquines prefabricados de hormigón y hormigón armado pueda garantizarse absolutamente que el depósito de contenedores no va a producir deterioros de ningún tipo. En el caso de utilizar pavimentos de otro tipo (hormigón en masa o incluso mezclas bituminosas) existe la posibilidad de un cierto grado de deterioro (fisuración o deformaciones permanentes bajo las patas, respectivamente), que puede considerarse admisible siempre que sea compatible con la explotación (lo cual requerirá en general que estas zonas de depósito se empleen exclusivamente para tal fin) y con el drenaje superficial de las aguas de lluvia.

En el caso particular de terminales automatizadas en las que las grúas pórtico ASC (*Automated Stacking Crane*) se mueven por carriles sobre vigas y en las que no está previsto el cambio de diseño o *lay out* del patio, se suelen disponer vigas de apoyo para los contenedores y entre ellos un relleno de material granular. La disposición de las vigas y su anchura mantiene la secuencia de los *ground-slots* de 40 y de 20 pies, así como la holgura *standard* entre contenedores.

Las vigas son de hormigón armado y trabadas, pero no conectadas a las losas de los caminos de las grúas pórtico. La razón de trabar las vigas a las losas es evitar el asiento

debido a la “compactación dinámica” provocada por el paso continuo de las ruedas de las grúas. El relleno granular entre vigas tiene pendiente hacia el centro de la zona de almacenamiento, donde se suele colocar un canal con rejilla para la recogida de las aguas pluviales con un tubo de drenaje que conduce al mar. Para hacer estanco este relleno se suele extender una capa de asfalto en su superficie y una lámina de polietileno en el fondo.

Finalmente, una forma habitual de explotación portuaria es el almacenamiento de mercancía general ya sea en contenedor o suelta (bobinas, chatarra, etc.) sobre semirremolques estacionados a la espera de que la cabeza tractora los traslade. Los ejes traseros de estos semirremolques (simples, tándem o trídem) no producen especiales deterioros en los firmes, ya que cumplen las condiciones para circular por carretera. Sin embargo, los distintos dispositivos de los que están provistos estos semirremolques pueden producir importantes deterioros. La tabla 3.5 muestra las presiones de contacto en la parte delantera según sea el dispositivo de apoyo de los semirremolques.

TABLA 3.5 PRESIONES DE CONTACTO SEGÚN EL DISPOSITIVO DE APOYO DE LOS SEMIRREMOLQUES

TIPO DE APOYO	SUPERFICIE DE CONTACTO	PRESIÓN MÁXIMA SOBRE EL PAVIMENTO
Apoyo con dos parejas de ruedas metálicas de 0,088 m de anchura y 0,225 m de diámetro cada una de ellas	0,088 x 0,010 m ²	45,5 MPa
Apoyo delantero con dos placas metálicas	0,225 x 0,150 m ²	2,5 MPa
Apoyo delantero con “vigüeta”	0,130 x 2,145 m ²	0,6 MPa
NOTAS		
Se han considerado vehículos con una masa máxima autorizada de 44 toneladas y una carga de 160 kN.		

Fuente: Elaboración propia

Debido a las elevadas presiones de contacto resultantes no son aconsejables determinados pavimentos, como, por ejemplo, los de mezcla bituminosa, en los que con tiempo caluroso los apoyos se incrustarían incluso varios centímetros. En estos casos se

recomienda estudiar la posibilidad de pavimentar de manera diferenciada una franja (con hormigón, adoquines, etc.) en la que se situarían los apoyos delanteros, pavimentando todo el resto de la zona como los viales de acceso.

A falta de datos o de criterios específicos fijados en el proyecto o en la explotación de la instalación, se considerarán para el dimensionamiento de los firmes en zonas de estacionamiento de semirremolques cargas de 80 kN y presiones de 45,5 MPa, tanto para zonas de uso comercial como también de uso militar. Por último, indicar que existen en los puertos una serie de vehículos especiales de transporte rodado de mercancías de mucho mayor peso que los vehículos convencionales. Estos vehículos, que se estudiarán con más detalle más adelante, no circulan por carreteras de uso público y transmiten mayores cargas al terreno. Por ello, en caso de ser necesario deben considerarse para el dimensionamiento valores de cargas de cálculo de 137 kN y presiones de 78,125 MPa. Indicar también que los sistemas multiplataforma y plataformas rodantes no se apoyan en puntos fijos, y por tanto no condicionan el dimensionamiento.

3.1.2 Cargas de los equipos de manipulación de mercancías

Las cargas transmitidas al pavimento por los equipos utilizados en las actividades de carga y descarga, depósito, recogida y transporte horizontal de mercancías, materiales o suministros, se pueden clasificar en función de su variabilidad espacial en: cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida y cargas transmitidas por equipos de movilidad restringida. La distribución espacial de las cargas transmitidas por los primeros se considera libre, limitada únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la instalación. En el caso de los equipos de movilidad restringida las cargas se considerarán libres únicamente en las bandas de circulación establecidas. En estos casos, se adoptará aquella distribución que produzca los efectos más desfavorables para el modo de fallo analizado.

Los equipos de movilidad no restringida incluyen: equipos de apilamiento, recogida o intercambio modal como grúas móviles y equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito sobre neumáticos como carretillas elevadoras frontales, carretillas pórtico (*straddle carriers*), apiladores de alcance (*reach stackers*), unidades tractor-remolque, sistemas multiplataformas (*multi-trailer systems* MTS), palas, camiones, etc. Se debe

tener presente en estos equipos que, si bien la existencia de esfuerzos horizontales importantes (por giros, aceleraciones y frenadas, etc.) no se consideran a los efectos del dimensionamiento estructural de los firmes, sí deben tenerse en cuenta al establecer las características superficiales que deben tener los pavimentos.

Por su parte, los equipos de movilidad restringida incluyen: equipos de apilamiento, recogida o intercambio modal como pórticos, puentes grúa, máquinas apiladoras o recogedoras, instalaciones de carga y descarga de vagones, etc., ya sean fijos o móviles circulando sobre carriles (RMG *rail mounted gantry*) o sobre neumáticos (RTG *rubber tyred gantry*) con movimientos canalizados sobre bandas longitudinales o circulares.

La utilización de unos y otros no es excluyente y puede ser simultánea en función de las condiciones de explotación establecidas. En la práctica, en función del tipo de mercancía, de la composición de los tráficos (importación, exportación o transbordo), del sistema de entrega/recepción de las mercancías (viario, ferroviario o navegación interior), del sistema adoptado para la carga y descarga del buque, y de las características físicas del área de almacenamiento (dimensiones y alejamiento del área de operación) se pueden considerar sistemas de manipulación de actuación simultánea con varios equipos tanto de movilidad restringida como no restringida. Además, es previsible su variación a lo largo de la vida útil de la instalación.

Los datos relativos a los equipos (cargas transmitidas y distribución de las mismas en planta) deben ser suministrados por los fabricantes. A falta de datos precisos, pueden utilizarse los correspondientes a los equipos más usuales en zonas portuarias de esta recomendación, tanto en lo que se refiere a las cargas transmitidas como a la distribución de las mismas en planta.

3.1.2.1 Cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida

Las cargas transmitidas por estos equipos son debidas fundamentalmente a las acciones y presiones verticales, y a las acciones horizontales que se producen en las distintas ruedas en condiciones de equipo cargado. No se consideran las cargas transmitidas por los equipos en la situación de despliegue de calzos o plataformas de apoyo, ya que puede considerarse que la carga-descarga con este sistema no es

compatible con los rendimientos exigibles para las áreas de operación, estando además cubiertas por las cargas mínimas exigidas por esta recomendación correspondientes a las grúas móviles. Dichas cargas están asociadas fundamentalmente con los siguientes factores:

- Configuración geométrica del equipo, particularmente en lo que se refiere a la separación entre ejes, número y separación entre centros de las ruedas en cada eje, así como tamaño de las mismas y del área de contacto asociada.
- Peso propio y capacidad de carga del equipo.
- Efectos inerciales asociados con el movimiento del equipo y con la elevación de la carga como impactos, traslación, frenada, etc. (los agentes del medio físico pueden considerarse como no significativos).

Los equipos de movilidad no restringida contemplados en esta recomendación son:

- Carretillas elevadoras frontales (*forklift truck*) o de carga lateral (*side loader*)
- Apiladores de alcance (*reach stackers, log stackers, etc.*)
- Carretillas puente o pórtico (*straddle carriers*) o lanzadera (*shuttle carriers*)
- Los *roll trailers* y las unidades tractor-semirremolque (tractor-semitrailer) y sistemas multiplataforma (*MTS multi-trailer systems*)
- Camiones volquetes (*dumpers*) y otros vehículos pesados específicos: por ejemplo, manipuladores de bobinas (*steel coil handlers*), etc.

La utilización de cada uno de ellos no es excluyente, en la práctica. En función del tipo de usos y de condiciones de almacenamiento o estacionamiento pueden preverse sistemas de transporte horizontal compuestos por combinaciones de los anteriormente citados. Además, es previsible su variación a lo largo de la vida útil de la instalación.

Los cargadores frontales o carretillas elevadoras de carga frontal (*front lift trucks* o FLT) se emplean tanto para manipular contenedores, que pueden llegar a 10 alturas en el caso de contenedores vacíos, como para mercancía general, en cuyo caso son mucho más pequeños y menos potentes. Todos tienen ruedas gemelas en el eje frontal y ruedas simples en el eje posterior. Entre los que se dedican a la manipulación de contenedores hay dos grandes grupos: los que sólo manejan contenedores de 20 pies y los que pueden

manejar contenedores de 40 pies. En este último caso, pueden llegar a cargas de cálculo por rueda de 405 kN.

Los apiladores de alcance (*reach stackers*) son vehículos sobre neumáticos (4 ruedas) que se usan para la manipulación de contenedores, mercancía general convencional y cajas móviles sobre plataformas y ferrocarriles. En función del tipo de mercancía que manipulen pueden hacer uso de spreader o de abrazadera.

- Bajo spreader, trabajando en la manipulación y almacenamiento de contenedores, operan hasta en 3 filas paralelas en horizontal, con alturas de elevación en primera fila que irán de los 10 a los 18 m (hasta 5 alturas). La capacidad de elevación de carga de estos equipos, en función de la fila en la que trabajen irá de 100-450 kN en primera y segunda fila, y de 50-300 kN en tercera fila.
- Bajo abrazadera, estos equipos trabajan sobre todo con carga fraccionada y presentan una capacidad de elevación de carga máxima que irá de los 150 a los 300 kN, en función del tipo de equipo elegido. La altura de elevación de la carga oscila entre los 7 y los 9 m.

En caso de no disponer de datos concretos sobre cargas puntuales (por rueda) se tomarán como valores de cálculo para el dimensionamiento, cargas por rueda de 405 kN y presiones de contacto de 1,08 MPa.

Las carretillas pórtico (*straddle carriers*), y carretillas lanzadera (*shuttle carrier*) son vehículos cargadores que circulan sin restricciones en muchas terminales semi-automatizadas, admiten 4 alturas de elevación para las carretillas pórtico y 2 alturas para las carretillas lanzadera. Sus ruedas pueden tomar todas las direcciones posibles confiriéndoles una gran maniobrabilidad. En su movimiento provocan importantes esfuerzos horizontales que pueden causar deterioros importantes al pavimento. En el peor de los casos alcanzan hasta 324 kN por par de ruedas gemelas y presiones de contacto de hasta 1,08 MPa. Estos valores representan valores de cálculo y corresponden a una carretilla lanzadera (*shuttle carrier*) con 500 kN de capacidad de elevación y 2 alturas de capacidad de almacenamiento de contenedores.

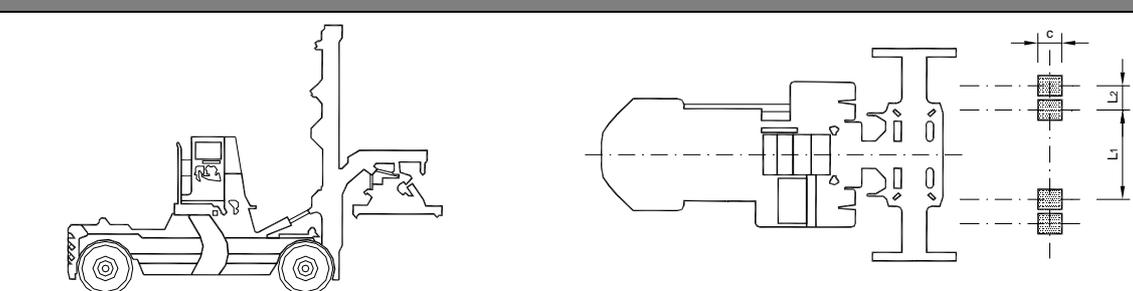
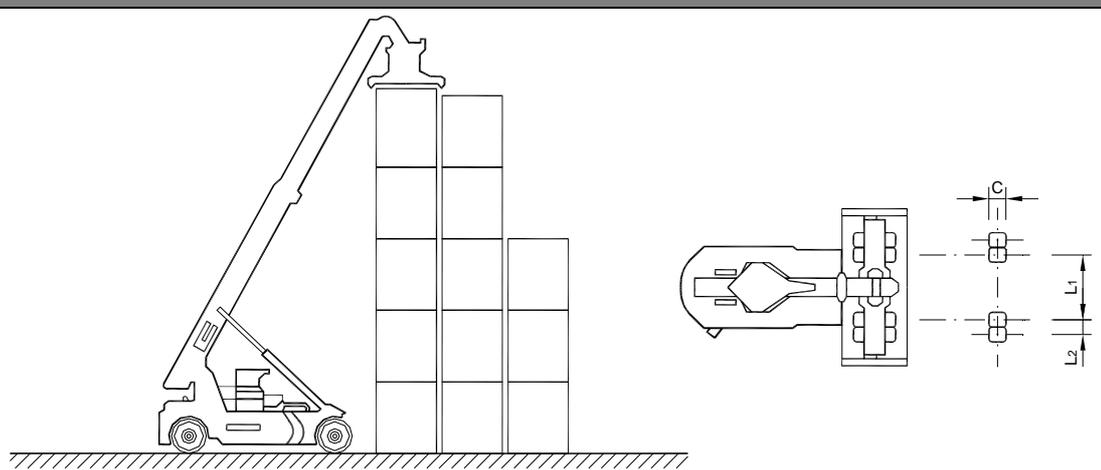
La unidad tractor-plataforma es un equipo que se emplea tanto para el traslado pues tiene capacidad de carga y descarga del buque, como para el almacenamiento de mercancía general y de contenedores (en este caso desenganchada del tractor). Las unidades tractoras suelen disponer de una capacidad de elevación de la rueda de la plataforma de 250 a 300 kN y una capacidad de remolque de hasta 800 kN. En el caso de sistemas multiplataformas son necesarias unidades tractoras con mayor capacidad de remolque. Por su parte, las plataformas portuarias (chasis) se distinguen de las de carretera fundamentalmente por el peso que pueden soportar. El peso máximo en carretera no suele superar los 300 kN de carga útil, dependiendo de cada país. Si bien, en los puertos al no regir el principio de pesos máximos establecidos para los camiones, una plataforma puede llegar a cargar dos contenedores de 20 pies ó uno de 40 ó 45 pies.

Las cargas por eje transmitidas por las unidades tractoras son menores que las transmitidas por las plataformas o chasis por lo que pueden no tomarse en consideración específicamente. Las máximas cargas por rueda en el eje más cargado para unidades tractor más semirremolque (y también para unidades multiplataforma) serán de 75 kN para los equipos con capacidades de carga de 500 kN y de 65 kN para equipos con capacidades de carga de 650 kN. Como cargas de cálculo para el dimensionamiento se tomarán, en líneas generales, las máximas cargas por rueda en el eje más cargado de 101,25 kN para sistemas con capacidad de carga de 500 kN y de 87,75 kN para sistemas con capacidad de carga de 650 kN. Las presiones de contacto serán de 3,375 MPa.

Una variante del chasis es la plataforma rodante (*roll-trailer*). Su capacidad de carga varía entre los 450 y los 1.200 kN, si bien existen equipos con capacidad de carga inferior, entre los 250 y los 400 kN, y con capacidad de carga de hasta los 2.000 kN. Estos últimos son menos comunes en las terminales portuarias, por su menor adaptación a las diferentes condiciones de explotación y de presentación de las mercancías. En condiciones de trabajo normales, la máxima carga por rueda que transmiten estos equipos oscilará entre los 50 y los 125 kN, con presiones de contacto para el tractor de 1,08 MPa, y para la plataforma de 3,375 MPa. Para el dimensionamiento, y a falta de datos precisos sobre el tipo de plataforma, se adoptarán como valores de cálculo una carga por rueda de 168,75 kN y una presión de contacto de 3,375 MPa.

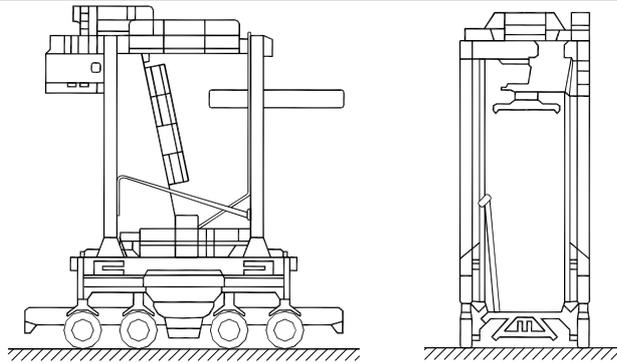
Las características de todos los equipos de movilidad no restringida que se han descrito hasta ahora (carretillas elevadoras frontales, apiladores de alcance, carretillas puente o pórtico o lanzadera y unidades tractor-semirremolque y sistemas multiplataforma) serán definidas por el promotor. En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados por el fabricante para los equipos previstos por el promotor, podrán adoptarse como órdenes de magnitud indicativos los consignados en la tabla 3.6 y tabla 3.7.

TABLA 3.6. CONFIGURACIÓN Y CARGAS CARACTERÍSTICAS TRANSMITIDAS POR EQUIPOS PORTUARIOS AUXILIARES TIPO DE TRANSPORTE Y DEPÓSITO DE MOVILIDAD NO RESTRINGIDA

A. CARRETILLAS ELEVADORAS FRONTALES								
		TIPO DE CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL¹⁾						
		Capacidad de elevación de carga (kN)	100²⁾	150	200	300	400	500
CARACTERÍSTICAS EQUIPO	Max. altura elevación sobre muelle (m)	4,0-18,0	4,0	4,0	5,0-10,0	5,0-10,0	5,0-10,0	
	Peso (kN)	150-400	200	300	400-600	500-700	600-750	
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL EJE MÁS CARGADO	Nº ruedas (N)	4	4	4	4	4	4	
	Separación centros ruedas int (L₁) (m)	1,50-2,60	1,60	1,80	2,20-2,50	2,40-2,70	2,60-2,70	
	Separación centros ruedas ex/in (L₂) (m)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,60	0,60	
	Dimensiones área contacto (cxc) (mxm)	3)	3)	3)	3)	3)	3)	
MÁXIMA CARGA POR RUEDA EJE MÁS CARGADO (kN)	Sin carga	Vertical	30-70	40	60	80-90	90-100	110-120
	En condiciones de operación	Vertical	50-80	65	110	180	240	300
		Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert
CARGA VERTICAL UNIFORME EQUIVALENTE (kN/m²)			20	23	25	30	35	40
B. APILADORES DE ALCANCE								
		TIPO DE APILADOR DE ALCANCE⁴⁾						
		Capacidad de elevación de carga (kN)	Bajo spreader en 1ª/2ª/3ª pila o vía	100/100/50⁵⁾			450/300/150⁷⁾	450/450/300⁸⁾
CARACTERÍSTICAS EQUIPO	Bajo abrazadera con mínimo alcance		150 ⁶⁾	250 ⁶⁾	300 ⁶⁾			
	Max. altura elevación 1ª fila (m)	15-18	7-9	7-9	7-9	12-15	10-12	

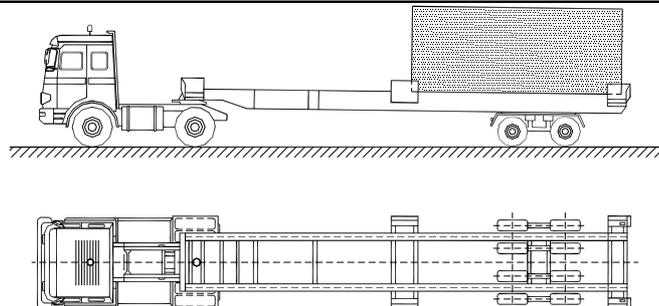
	Peso (kN)		400	450	700	750	750	1000
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL EJE MÁS CARGADO	Nº ruedas (N)		4	4	4	4	4	4
	Separación centros ruedas int (L1) (m)		2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
	Separación centros ruedas ex/in (L2) (m)		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	Dimensiones área contacto (cxc) (mxm)		3)	3)	3)	3)	3)	3)
MÁXIMA CARGA POR RUEDA EJE MÁS CARGADO (kN)	Sin carga	Vertical	60	65	85	90	90	110
		En condiciones de operación	Vertical	85	100	150	200	250
			Horizontal	0,05 Vert				
CARGA VERTICAL UNIFORME EQUIVALENTE (kN/m²)			20	25	28	30	35	40

C. CARRETILLAS PUENTE, PÓRTICO O LANZADERA



		TIPO DE CARRETILLA						
		LANZADERA		PUENTE O PORTICO				
Capacidad de elevación de carga (kN)/Máxima altura de elevación (nº contenedores)		400/2	500/2	400/3	400/4	500/3	500/4	
CARACTERÍSTICAS EQUIPO	Peso (kN)	430	450	600	660	620	680	
	Tipo de sistema de ejes	simple	simple	tándem	tándem	tándem	tándem	
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA DE EJES MÁS CARGADO	Separación entre centros de ruedas (L₁) (m)	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	
	Separación entre centros de ruedas en tándem (L₃) (m)	-----	-----	2.10	2.10	2.10	2.10	
	Dimensiones área de contacto (cxc) (mxm)	3)	3)	3)	3)	3)	3)	
MÁXIMA CARGA POR RUEDA EJE MÁS CARGADO (kN)	Sin carga	Vertical	110	115	75	85	80	85
		En condiciones de operación	Vertical	200	240	125	135	140
			Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert
CARGA VERTICAL UNIFORME EQUIVALENTE (kN/m²)			150	200	150	150	200	200

D. UNIDADES TRACTOR-SEMIREMOLQUE Y SISTEMAS MULTIPLATAFORMA⁹⁾



		TIPO DE PLATAFORMA		
Capacidad de carga (kN)		500¹⁰⁾	650¹⁰⁾	
CARACTERÍSTICAS EQUIPO	Peso (kN)	65-80	85-95	
	Tipo de sistema de ejes	Simple	tándem	
	Longitud (m)	14,10	14,15	
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA DE EJES MÁS CARGADO	Nº de ruedas (N)	4	8	
	Separación entre centros de ruedas internas (L₁) (m)	1,70	1,70	
	Separación entre centros de ruedas externa e internas (L₂) (m)	0,40	0,40	
	Separación entre centros de ruedas en tándem (L₃) (m)	-----	1,30	
	Dimensiones área de contacto (cxc) (mxm)	3)	3)	
MÁXIMA CARGA POR RUEDA EJE MÁS CARGADO (kN)	Sin carga	Vertical	10	6
	En condiciones de operación	Vertical	75-70	65
		Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert
CARGA VERTICAL UNIFORME EQUIVALENTE (kN/m²)		15	15	

NOTAS

- 1) Cuando se dan rangos de valores para un tipo de carretillas elevadoras es función de los dispositivos o sistemas de elevación de la carga que pueden incorporar. En general, los valores menores se corresponden con horquillas y los mayores con sistemas laterales de elevación o spreader superior.
- 2) Los valores mayores corresponden a equipos para manipulación de contenedores vacíos mediante spreader lateral o superior.
- 3) Para obtener las dimensiones del área de contacto pueden considerarse presiones de contacto del orden de 800 kN/m².
- 4) Los apiladores de alcance son equipos que permiten manipular cargas que se encuentran situadas alejadas del chasis del equipo. Particularmente, en el caso de los contenedores o plataformas permiten su manipulación de los que se encuentran situados en las pilas 2ª y 3ª sin necesidad de mover los de la primera. Por dicha razón estos equipos se definen normalmente por su capacidad de elevación de carga situada en la primera, segunda y tercera pila o vía. Sin embargo, los apiladores de alcance para la manipulación de cargas fraccionadas mediante abrazaderas se definen por su capacidad de elevación de carga con mínimo alcance.
- 5) Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación de contenedores vacíos.
- 6) Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación de carga fraccionada.
- 7) Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación de contenedores cargados
- 8) Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación intermodal (contenedores y cajas móviles sobre plataformas o ferrocarril)
- 9) Las plataformas portuarias, también denominadas chasis, se distinguen de las de carretera fundamentalmente por el peso que pueden soportar. El peso máximo por carretera no suele superar los 300 kN de carga útil, dependiendo de cada país. Sin embargo, en los puertos al no regir el principio de pesos máximos establecidos para los camiones, una plataforma puede llegar a cargar dos contenedores de 20' ó uno de 40 ó 45'. Estos equipos suelen ser remolcados por unidades tractoras con capacidad de elevación de la 5ª rueda de la plataforma de 250 a 300 kN y una capacidad de remolque de hasta 800 kN. En el caso de sistemas multiplataformas son necesarias unidades tractoras con mayor capacidad de remolque. Las cargas por eje transmitidas por estas unidades tractoras son menores que las transmitidas por las plataformas o chasis por lo que pueden no tomarse en consideración específicamente.
- 10) cuando se dan rangos de valores, los primeros están asociados con semirremolques y los segundos con plataformas para sistemas multiplataforma.

Fuente: ROM 2.0-11.

TABLA 3.7. CONFIGURACIÓN Y CARGAS CARACTERÍSTICAS TRANSMITIDAS POR EQUIPOS SOBRE NEUMÁTICOS TIPO CON CAPACIDAD DE CARGA Y DESCARGA DEL BUQUE POR MEDIOS RODANTES

A. CARRETILLAS ELEVADORAS FRONTALES								
En general, el tipo de carretillas elevadoras frontales que se utilizan para la carga y descarga de buque por medios rodantes son aquellas con una capacidad de elevación de carga del orden de 300 kN. La configuración y cargas características transmitidas por estos equipos se incluyen en la tabla 3.8 de la ROM 2.0-11								
B. UNIDADES TRACTOR-PLATAFORMA RODANTE								
		TIPO DE TRACTOR- PLATAFORMA RODANTE						
PLATAFORMA RODANTE	Capacidad de carga plataforma (kN) ¹⁾	450	600	800	1000	1200		
	Carga 5ª rueda de plataforma con máxima carga (kN)	140	185	215	265	320		
TRACTOR	Capacidad 5ª rueda (kN) ²⁾	300-350	300-350	300-350	300-350	300-350		
CARACTERÍSTICAS EQUIPO	Peso plataforma(kN)	50	55	60	70	90		
	Peso tractor (kN)	90-150	90-150	90-150	90-150	90-150		
	Longitud plataforma (m)	12,30	12,30	12,30	12,30	12,30		
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA DE CARGAS TRACTOR /PLATAFORMA	Separación entre el eje más cargado del tractor y el punto medio entre los ejes de la plataforma (L ₄) (m)		10,50	10,50	10,50	10,50	10,50	
	Nº de ruedas de plataforma rodante (N)		8	8	8	8	8	
	TRACTOR	Separación entre centros de ruedas internas (L ₁₇) (m)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	
		Separación entre centros de ruedas externas e internas (L ₂₇) (m)	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	
		Forma y dimensiones del área de contacto (cxc) (mxm)	3)	3)	3)	3)	3)	
	PLATAFORMA	Separación entre centros de ruedas internas (L ₁₈) (m)	0,80	0,70	0,50	0,45	0,45	
		Separación entre centros de ruedas externas e internas (L ₂₈) (m)	0,48	0,52	0,60	0,75	0,75	
		Separación entre centros de ruedas en tándem (L ₃₈) (m)	0,65	0,75	0,75	0,80	0,90	
		Forma y dimensiones del área de contacto (axb) (mxm)	ax0,40 ⁴⁾					
	MÁXIMA CARGA POR RUEDA (kN)	TRACTOR	Sin carga	Vertical	15-25	15-25	15-25	15-25
En condiciones de operación			Vertical	50	60	70	80	90
		Horizontal	0,05 Vert					
PLATAFORMA		Sin carga	Vertical	4,50	5,00	6,00	7,00	9,00
		En condiciones de operación	Vertical	45	60	85	105	125
Horizontal			0,05 Vert					
CARGA VERTICAL UNIFORME EQUIVALENTE (kN/m ²)			15	20	25	30	35	
NOTAS								
1) Si bien están disponibles plataformas rodantes con menor (250 a 400 kN) o mayor (hasta 2000 kN) capacidad de carga, se incluyen en esta tabla únicamente las que se consideran más comunes en las terminales portuarias por su mayor adaptación a diferentes condiciones de explotación y de presentación de las mercancías, con longitudes capaces de transportar tanto carga fraccionada como simultáneamente 2 contenedores de 20' o un contenedor de hasta 45' (longitudes del orden de 12 m)								
2) Aunque pueden utilizarse unidades tractoras con menor capacidad en 5ª rueda para los tipo de plataforma rodantes incluidos en esta tabla hasta 800 kN de capacidad de carga, en general se considera recomendable para estas plataformas utilizar unidades tractoras con capacidad en la 5ª rueda mayor de 300 kN y con capacidad de remolque hasta 1200 kN.								
3) Para obtener las dimensiones del área de contacto pueden considerarse presiones de contacto del orden de 800 kN/m ² .								
4) La dimensión a del área de contacto puede obtenerse considerando presiones de contacto del orden de 2500 kN/m ²								

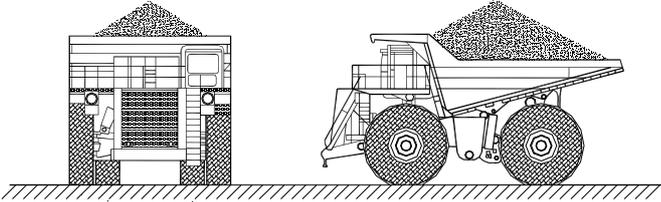
Fuente: ROM 2.0-11.

Así mismo, dentro de los vehículos de movilidad no restringida se incluye todo el tráfico pesado convencional que puede circular sin restricciones por las redes de carreteras, que es el característico de los viales de acceso. En los puertos este tráfico se puede dar además en todas las zonas, por ello se debe tener en cuenta en el dimensionamiento de los firmes de las zonas complementarias. Las cargas máximas permitidas de los vehículos pesados que pueden circular sin restricciones por las carreteras españolas son las siguientes:

- Carga por eje simple motor: 115 kN (salvo para los vehículos de transporte colectivo de viajeros de 1ª Clase I (autobuses urbanos), que será de 130 kN)
- Carga por eje simple no motor: 100 kN
- Carga por eje tándem o doble de los vehículos de motor: 190 kN
- Carga por eje tándem o doble de los remolques o semirremolques: 240 kN
- Carga total (carga útil más peso propio) de vehículos rígidos de 2 ejes: 180 kN
- Carga total de vehículos rígidos de 3 ejes: 260 kN (la carga máxima de cada eje no puede exceder los 95kN)
- Carga total de vehículos rígidos de 4 o más ejes, de vehículos articulados (semirremolques) y de trenes de carretera: 440 kN

Según las características de los neumáticos las presiones máximas de contacto para tráfico pesado varían de 0,6 a 0,9 MPa aproximadamente, aunque por efectos dinámicos pueden llegar a alcanzarse presiones de 1,5 MPa. Entre los vehículos pesados de las terminales portuarias destacan los camiones volquete (*dumper*), utilizados para el transporte y manipulación de graneles sólidos. Estos vehículos operan con capacidades de carga de entre 2.000 y 4.000 kN. Para el dimensionamiento del firme portuario sobre el que circularán, se tomará como valores de cálculo para la máxima carga por rueda en el eje más cargado 1.485 kN, con presiones de contacto de 1,35 MPa. En ausencia de información más precisa podrán adoptarse como órdenes de magnitud indicativos los consignados en la tabla 3.8.

TABLA 3.8. CONFIGURACIÓN Y CARGAS CARACTERÍSTICAS TRANSMITIDAS POR CAMIONES VOLQUETE (DUMPER) TIPO



Capacidad de carga (kN)		TIPO DE CAMIÓN VOLQUETE			
		2000	2400	4000	
CARACTERÍSTICAS EQUIPO	Peso (kN)	1500	1550	2300	
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA EJE MÁS CARGADO	Nº ruedas (N)	4	4	4	
	Separación entre centros de ruedas internas (L ₁) (m)	3,7	3,7	3,9	
	Separación entre centros de ruedas externa e interna (L ₂) (m)	1,1	1,2	1,75	
	Dimensiones área de contacto (cxc) (mxm)	1)	1)	1)	
MÁXIMA CARGA POR RUEDA EJE MÁS CARGADO (kN) ²⁾	Sin carga	Vertical	250	250	350
		Vertical	650	750	1100
	En condiciones de operación	Horizontal ³⁾	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert
CARGA VERTICAL UNIFORME EQUIVALENTE (kN/m ²)			30	35	45

NOTAS

1) Para obtener las dimensiones del área de contacto pueden considerarse presiones del orden de 1000 kN/m².

2) Las cargas máximas consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud, habiéndose obtenido del análisis de las correspondientes a varios fabricantes. Dependiendo del fabricante pueden variar de forma significativa, por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si esto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores máximos que no deben superarse, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación. Las máximas cargas por rueda incluyen la amplificación dinámica y los efectos inerciales debidos a la traslación y frenada, aunque no el giro. En las zonas en las que se produzca el giro de estos equipos puede considerarse que las cargas transmitidas son un 30 % superiores a las consignadas en esta tabla.

3) En condiciones normales de operación debe considerarse que actúa simultáneamente una acción horizontal adicional en la dirección de circulación, causada por los movimientos del equipo (traslación o frenada), igual al 10 % de las cargas verticales. No están incluidos en este valor los efectos debidos a los giros.

Fuente: ROM 2.0-11.

Finalmente, las grúas automóbiles (*mobile cranes*) sobre neumáticos u orugas son equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación, su actividad está asociada fundamentalmente a los siguientes factores:

- Configuración geométrica del equipo, particularmente en lo que se refiere al número, disposición, separación, forma y tamaño de calzos estabilizadores o de orugas.
- Peso propio del equipo, incluyendo el peso de los sistemas o dispositivos de elevación o carga (gancho, cuchara o *spreader*).
- Capacidad de elevación del equipo en relación con su alcance.
- Efectos inerciales asociados con el movimiento del equipo y la elevación de la carga
- Los efectos de los agentes del medio físico, particularmente el viento.

Estas grúas se utilizan fundamentalmente en la manipulación de mercancía general y contenedores. Cuando manipulan contenedores admiten almacenamientos incluso de 5 alturas, disponiendo de capacidades de elevación máximas que van, con radios cortos, de 35 a 150 t (para alcances de 6 a 11 m) y capacidades de elevación para alcances máximos de 25 a 50 m, de 10 a 50 t. Las peores condiciones de trabajo se producen operando lateralmente o hacia atrás sobre gatos estabilizadores. En esas circunstancias, en las grúas de 150 t la carga sobre cada apoyo es de 3.375 kN con una presión de 1,35 MPa. En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados por el fabricante, podrán adoptarse los valores característicos de las cargas consignados en la tabla 3.9.

TABLA 3.9. CONFIGURACIÓN Y CARGAS CARACTERÍSTICAS TRANSMITIDAS POR GRÚAS PORTUARIAS MÓVILES TIPO

	TIPO DE GRÚA MÓVIL					
Capacidad de carga bajo gancho (kN) con máximo alcance (m)	100/25	150/30	250/35	300/40	400/45	500/50
Capacidad de carga (kN) bajo gancho con mínimo alcance (m)	350/6	400/8	600/8	850/10	1000/10	1500/11
Tamaño máximo buque de proyecto ¹⁾	Feeder			Panamax	Post-Panamax	Super post Panamax
Tonelaje (TPM)	< 10000	10000-15000	15000-25000	25000-50000	50000-100000	> 100000
Manga del buque (m)	< 22,5	22,5-25	25-28,5	28,5-32,5	32,5-40	>40

CARACTERÍSTICAS GRÚA	Max. altura elevación sobre muelle (m)	18-22	18-25	25-30	30-32	30-35	35-38	
	Max. Altura total de elevación (m)	30-33	33-35	40-45	45-47	45-50	50-53	
	Peso (kN)	800-1200	1100-1500	1800-2400	2500-3000	3000-4000	4000-4500	
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Nº calzos estabilizadores (N)	4	4	4	4	4	4	
	Disposición de los calzos	rectangula r	rectangula r	rectangula r	rectangula r	rectangula r	rectangula r	
	Forma de los calzos	rectangula r	rectangula r	rectangula r	rectangula r	rectangula r	rectangula r	
	Tamaño de los calzos ²⁾ (a x b)							
	Dimensiones de la base soporte (S ₁ x S ₂) (mxm)	10 x 8	12 x 9	11 x 10	11 x 11	12 x 12	15 x 12	
MÁXIMA CARGA POR CALZO (kN) ^{3) 4)}	En condiciones de operación ⁵⁾	Vertical	500	750	1000	1500	2000	2500
		Horizontal	0.05 Vert	0.05 Vert				

NOTAS

1) El tipo de grúa que se recomienda en función del máximo buque de proyecto debe tomarse como especialmente indicada para obras de atraque y amarre de usos comerciales para graneles líquidos, graneles sólidos y mercancía general convencional ordinaria. Para obras de atraque multipropósito, ferris, carga convencional pesada y contenedores debe tomarse en consideración adicionalmente el peso unitario de las mercancías a manipular, por lo que es conveniente la utilización como mínimo de grúas móviles 250/35 para estos usos, independientemente de la manga del máximo buque de proyecto.

2) No se incluyen tamaños tipo de calzos estabilizadores ya que éstos pueden ser muy variables en función del fabricante del equipo, adaptándose en general a los requerimientos del promotor. A falta de datos más precisos pueden considerarse como usuales presiones del orden de 1000 kN/m².

3) Las cargas máximas por calzo estabilizador consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud para cada tipo de grúa, habiéndose obtenido del análisis de las correspondientes a diferentes fabricantes. Dependiendo del fabricante y de la configuración geométrica, las variaciones pueden ser significativas por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso por el fabricante elegido. Si esto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores máximos que no deben superarse por este tipo de equipos, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación.

4) Del lado de la seguridad, puede considerarse que las cargas verticales sobre cada uno de los calzos estabilizadores puede inferirse a partir de la máxima carga por calzo, considerando que ésta actúa simultáneamente sobre dos calzos situados en un mismo lado del equipo, actuando sobre cada uno de los dos restantes la diferencia entre la mitad del peso del equipo (incluyendo su máxima capacidad de carga) y la carga actuante sobre el calzo más cargado. La carga horizontal en cada calzo será el 5% de la carga vertical en dicho calzo.

5) Considerando una velocidad de viento en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 20\text{ m/s}$ (72 km/h) en la dirección más desfavorable, así como los efectos inerciales asociados al movimiento de la carga manipulada.

6) Puede considerarse suficientemente aproximado adoptar como valores frecuentes y cuasi-permanente de las cargas transmitidas por las grúas móviles tipo incluidas en esta tabla los obtenidos de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 3.5 a partir de los datos consignados en la misma, no considerando los efectos debidos al viento.

Fuente: ROM 2.0-11.

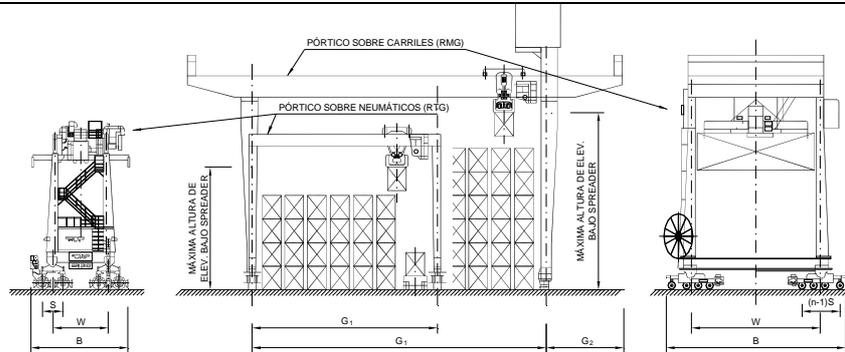
3.1.2.2 Cargas transmitidas por equipos de movilidad restringida

Las grúas que trabajan en la zona de operaciones a lo largo del muelle y que se encargan de la carga y descarga de la mercancía del buque, pueden ser pórtico de muelle (*portal cranes*) o grúas portacontenedores (*portainers*). Las primeras pueden trabajar con gancho para mercancía general (y excepcionalmente para contenedores) o con cuchara para graneles. Son giratorias y se pueden desplazar paralelamente al cantil. Las segundas son equipos especializados en el movimiento de contenedores disponen de una pluma abatible formando un largo voladizo y no son giratorias. En ambos casos las grúas tienen una circulación restringida sobre carriles que a su vez se disponen sobre vigas o sobre pilotes. Por esta razón, las cargas que transmiten no actúan directamente sobre los firmes.

Los pórticos de almacenamiento (*transtainers*) son equipos dedicados a la manipulación de contenedores en las zonas de almacenamiento, sus características pueden observarse en la tabla 3.10. Se desplazan sobre neumáticos o sobre carriles y pueden resultar especialmente dañinos, pues transmiten cargas del orden de 675 kN por rueda y presiones de contacto de 1,35 MPa (según el tipo de equipo). Estos equipos tienen la circulación restringida a caminos de rodadura preestablecidos, los cuales, están diseñados normalmente con viga flotante de rodadura y con refuerzo de planchas de acero en la zona de intersección en la que se producen los giros de los neumáticos (según el tipo de equipo las dimensiones de las planchas pueden ser 1,5 x 1,5 m² en planta y 0,020 m de espesor). Los pórticos con luces superiores a 30 metros van montados sobre raíles y pueden llegar incluso a apilar en 8 alturas, si bien para el dimensionamiento de las zonas de almacenamiento se tomarán alturas máximas de almacenamiento de contenedores de 6. El objetivo en el dimensionamiento es conseguir que el dimensionamiento de los firmes pueda independizarse de las características de estos equipos.

No se incluyen en este apartado las cargas transmitidas por las instalaciones específicas de contención como tanques para graneles líquidos o silos para graneles sólidos, los cuales se consideran como parte de los agentes de estacionamiento y almacenamiento. Dichas instalaciones suelen llevar incorporados sistemas continuos de transferencia de las mercancías con el área de operación desde o hasta los modos de transporte terrestre. En este caso, se debe destacar la dificultad para dar órdenes de magnitud de las cargas transmitidas debido a la diversidad tipológica existente en el mercado, particularmente en el caso de los graneles sólidos.

TABLA 3.10. CONFIGURACIÓN Y CARGAS CARACTERÍSTICAS TRANSMITIDAS POR PÓRTICOS SOBRE NEUMÁTICOS (RTG) O CARRILES (RMG) TIPO PARA ÁREAS DE ALMACENAMIENTO



TIPO DE PÓRTICO		SOBRE NEUMÁTICOS (RTG)			SOBRE CARRILES (RMG) ⁸⁾	
CARACTERÍSTICAS PÓRTICO	Capacidad de carga bajo spreader (kN)	400			400-500	
	Máx. Altura de elevación bajo spreader	nº contenedores	3+1	4+1	5+1	3+1 a 8+1
		m	12,5	15,5	18,5	12,5 a 28,0
Peso (kN)	800			1200	1500	1600-3500 ⁹⁾
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Distancia entre ejes bandas circular (G ₁)	nº contenedores	5+calzada	6+calzada	7+calzada	6 a 20
		m	20,7	23,5	26,5	20,7 a 60
	Alcance de voladizos (G ₂)	nº contenedores	-	-	-	0 a 3 en uno o ambos lados
		m	-	-	-	0 a 15 en uno o ambos lados
	Separación entre patas (W) (m)	7,4	7,4	7,4	15-17	
	Nº ruedas por pata (n)	1 ¹⁾	2 ²⁾	2 ²⁾	2 a 4 ³⁾	
	Separación de ruedas (S) (m)	-	2,5	2,5	1,1 a 1,5	
	Distancia entre topes (B) (m)	11	14	14	20 a 25	
Dimensiones del área de contacto (cxc) (mxm)	3)	3)	3)	---		
MÁXIMA CARGA POR RUEDA (kN) ⁴⁾	En condiciones de operación ⁵⁾	Vertical	500	300	350	250-300
		Horizontal ⁷⁾	11,5	7	9	12-15
	En condiciones extremas y excepcionales ⁶⁾	Vertical	225	170	210	230-250
		Horizontal	40	25	30	40-45

NOTAS

- Este tipo de equipo también está disponible en el mercado con 2 ruedas por pata (8 en el equipo) siendo de aplicación la configuración geométrica de separación de ruedas definidas para los equipos con este número de ruedas por pata. Las cargas máximas en este caso deben dividirse por 2 respecto a las consignadas en la tabla.
- Este tipo de equipo también está disponible en el mercado con 4 ruedas por pata (16 en todo el equipo). En este caso se dispone doble rueda en la dirección perpendicular a la banda de circulación, manteniéndose la separación de ruedas en la dirección de circulación. Las cargas máximas en este caso deberán dividirse por 2 respecto a las consignadas en esta tabla. Puede observarse que las cargas transmitidas por los equipos con 16 ruedas están cubiertas por las transmitidas por el tráfico terrestre viario, no siendo necesario un dimensionamiento específico de las bandas de circulación.
- Para obtener las dimensiones del área de contacto pueden considerarse presiones del orden de 1000 kN/m².
- Las cargas máximas por rueda consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud para cada tipo de pórtico, habiéndose obtenido del análisis de las correspondientes a diferentes fabricantes. Dependiendo del fabricante puede variar de forma significativa tanto la configuración geométrica como las cargas máximas por rueda, por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si esto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores máximos que no deben superarse, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación.
- Considerando una velocidad del viento en el emplazamiento $V_{v,3s}$ (10 m) = 22 m/s (80 km/h) en dirección transversal a la banda de circulación, así como los efectos inerciales asociados al movimiento de la carga y del equipo (traslación o frenada). No se tienen en cuenta los efectos debidos a posibles giros de los equipos sobre neumáticos (RTG). En las zonas en las que se produzcan giros puede considerarse que las cargas transmitidas son un 30 % superior a las consignadas en la tabla.
- Considerando una velocidad del viento en el emplazamiento $V_{v,3s}$ (10 m) = 40 m/s (144 km/h) en dirección transversal a la banda de circulación.
- En condiciones normales de operación debe considerarse que actúa simultáneamente una acción horizontal adicional en la dirección de la banda de rodadura, causada por los movimientos del equipo (traslación o frenada), igual al 15% de las cargas verticales. No están incluidos en este valor los efectos debidos a los giros.
- Los pórticos sobre carriles (RMG) se distinguen de los pórticos sobre neumáticos (RTG) principalmente por alcanzar mayores separaciones entre bandas de rodadura que permite el almacenamiento de hasta 20 filas de contenedores, así como por disponer de voladizos laterales en uno o ambos lados del pórtico. En algunos casos incluso estos voladizos pueden ser mayores que los considerados estándar (hasta 15 m), utilizándose no únicamente en el área de almacenamiento sino simultáneamente para la carga y descarga por elevación de buques de tamaño pequeño (barcazas y feeder). Las tipologías existentes de este tipo de pórticos son, por tanto, muy variadas y de difícil sistematización por lo que se incluye únicamente en la tabla los rangos de variación estándar de cada uno de los parámetros. En general, los primeros valores de cada rango se refieren a los pórticos de menor altura y distancia entre carriles, y los finales los pórticos de mayor luz y altura.
- Equipos más pesados (hasta 6500 kN) están también disponibles en el mercado. En este caso se suelen disponer hasta 16 ruedas por banda de rodadura con el objeto de mantener las cargas por rueda en los órdenes de magnitud consignados en esta tabla. Bajo cada pata se mantiene el carretón con cuatro ruedas, introduciéndose dos nuevos carretones con cuatro ruedas en el espacio libre entre patas.
- Los otros valores representativos de combinación pueden obtenerse de acuerdo con lo consignado a estos efectos en la tabla 3.5 de ROM 2.0-11.

Fuente: ROM 2.0-11. p 214

3.1.2.3 Cargas mínimas recomendadas

Se recomienda que en las obras de atraque y amarre accesibles al tráfico rodado en las que se prevea que en un futuro la carga-descarga de los buques se realice por elevación mediante sistemas discontinuos, se considere siempre la actuación de grúas móviles sobre neumáticos u orugas, aunque inicialmente no estén previstas por el promotor. En función de los usos y de las características de los buques de proyecto y en previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización de las instalaciones durante la vida útil, es recomendable adoptar como mínimo las siguientes cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida:

- Para usos comerciales de graneles líquidos, graneles sólidos y mercancía general convencional ordinaria se recomienda utilizar, en función de la manga del máximo buque de proyecto, las cargas correspondientes a las grúas móviles incluidas en la tabla 3.9, las cuales tendrán la consideración de cargas mínimas en proyectos de obras de atraque y amarre.
- Para usos comerciales de mercancía general convencional pesada, contenedores, ferris y multipropósito, así como para usos industriales y militares se recomienda utilizar, para máximos buques de proyecto tipo Panamax, Post-Panamax y Super Post-Panamax, las cargas correspondientes a las grúas móviles incluidas en la tabla 3.9, las cuales tendrán la consideración de cargas mínimas en proyectos de obras de atraque y amarre. Para buques tipo Feeder o Sub-Panamax, las cargas correspondientes a la grúa móvil 250/35 incluidas en dicha tabla tendrán la consideración de cargas mínimas, independientemente de la manga del máximo buque de proyecto.
- Para el resto de usos, independientemente del sistema de manipulación de mercancías previsto, las cargas transmitidas por la grúa móvil 100/25 incluidas en la tabla 3.9 tendrán la consideración de cargas mínimas, siempre que la obra de atraque sea accesible al tráfico rodado. En las obras de atraque y amarre no accesibles al tráfico rodado, no se considerarán cargas mínimas transmitidas por equipos de manipulación de movilidad no restringida.

Las obras de atraque y amarre en las que se prevé que la carga y descarga del buque se realice mediante sistemas discontinuos por medios rodantes están limitadas a los usos comerciales de mercancía general y pasajeros (ferris). Estas operaciones pueden realizarse de forma autopropulsada (camiones con semirremolques, con o sin carga, con turismos y autobuses que tienen por sí mismos el carácter de mercancía) o por medio de la utilización de equipos auxiliares de remolque que no permanecen en el buque (carretillas elevadoras frontales y unidades tractoras). En este último caso, en el caso de que la operativa se realice mediante equipos auxiliares de remolque puede ser necesario también considerar la utilización complementaria de equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito sobre neumáticos, por ejemplo, apiladores de alcance para la carga y descarga o traslado de las mercancías.

La posible utilización de estos equipos y las características de los mismos será definida por el promotor, teniendo en cuenta las características de las mercancías y las condiciones de explotación establecidas para la instalación. La utilización de estos equipos no es excluyente. Por ello, en obras de atraque y amarre en las que se considere la carga y descarga del buque mediante sistemas discontinuos por medios rodantes, también se considerará, del lado de la seguridad su utilización. En consecuencia:

- Para usos comerciales de mercancía general y pasajeros en los casos: ro-ro, ferris y multipropósito se recomienda considerar las cargas mínimas correspondientes a las carretillas elevadoras frontales con capacidad de elevación de carga de 300 kN y las cargas mínimas correspondientes a las unidades tractor-plataforma rodante con capacidad de carga de 800 kN incluidas en las tablas 3.6 y 3.7 respectivamente.
- Para el resto de usos no se considerarán cargas mínimas debidas a equipos sobre neumáticos con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes, sin perjuicio de considerar en esos usos las cargas mínimas debidas a equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito.

Por otra parte, cuando en la zona de operación sí estén operativos sistemas discontinuos de carga y descarga por elevación, en previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación durante su vida

útil, o de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, es recomendable que se adopten como mínimo las siguientes cargas transmitidas por equipos auxiliares de movilidad no restringida (aunque la utilización de dichos equipos auxiliares no esté inicialmente prevista o detallada por el promotor):

- Para usos comerciales de mercancía general convencional ordinaria se recomienda adoptar las cargas correspondientes a las carretillas elevadoras frontales con capacidad de elevación de carga de 200 kN incluidas en la tabla 3.6.
- Para usos comerciales de mercancía general convencional pesada, ro-ro, ferris y multipropósito, así como para los usos industrial y militar se recomienda adoptar las cargas correspondientes a las carretillas elevadoras frontales con capacidad de elevación de carga de 300 kN incluidas en la tabla 3.6.
- Para usos comerciales de contenedores se recomienda adoptar las cargas correspondientes a los apiladores de alcance del tipo 450/300/150 incluidas en la tabla 3.6.
- Para el resto de usos no se considerarán cargas mínimas debidas a equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito, siempre que el área de operación de la obra de atraque sea accesible a tráfico rodado viario, ya que, en estos casos, las cargas mínimas debidas a equipos auxiliares pueden considerarse cubiertas por las cargas debidas al tráfico terrestre. En las obras de atraque y amarre no accesibles al tráfico rodado viario no se considerarán cargas mínimas transmitidas por equipos auxiliares, lo que no significa que el promotor no pueda considerar la actuación de equipos auxiliares de transporte y depósito en función de las condiciones de explotación definidas para la instalación.

Finalmente, si el grado de incertidumbre en cuanto a la explotación o al tipo de equipos de manipulación que trabajarán en la terminal es muy elevado, para estar del lado de la seguridad, se pueden adoptar los valores de cargas transmitidas y presiones de contacto que se detallan en la tabla 3.11. Se debe tener presente que todos los valores dados en este apartado, junto con los que se especifican en la tabla 3.11 para cada tipo de grúa móvil, son valores orientativos, habiéndose obtenido del análisis de diferentes fabricantes.

Dependiendo del fabricante y de la configuración geométrica, las variaciones pueden ser significativas, por lo que deben contrastarse con las aportadas por el fabricante seleccionado.

TABLA 3.11. CARGAS Y PRESIONES DE LOS EQUIPOS DE MANIPULACIÓN EN LAS PEORES CONDICIONES DE TRABAJO

EQUIPO DE MANIPULACIÓN	CARGA MÁXIMA EN CADA PUNTO DE APOYO (kN)	MÁXIMA PRESIÓN DE CONTACTO (MPa)
Pórtico de almacenamiento	675	1,35
Carretilla pórtico o lanzadera	324	1,08
Cargador frontal de 100 kN	68 a 108	1,08
Cargador frontal de 150 kN	88	1,08
Cargador frontal de 200 kN	149	1,08
Cargador frontal de 300 kN	243	1,08
Cargador frontal de 400 kN	324	1,08
Cargador frontal de 500 kN	405	1,08
Cargador lateral	405	1,08
Grúa automóvil de 35 t	675	1,35
Grúa automóvil de 40 t	1012,5	1,35
Grúa automóvil de 60 t	1350	1,35
Grúa automóvil de 85 t	2025	1,35
Grúa automóvil de 100 t	2700	1,35
Grúa automóvil de 150 t	3375	1,35
Unidad tractor-plataforma rodante (Roll-trailer) 45 t	67,5	3,375
Unidad tractor-plataforma rodante (Roll-trailer) 60 t	81	3,375
Unidad tractor-plataforma rodante (Roll-trailer) 80 t	114,75	3,375
Unidad tractor-plataforma rodante (Roll-trailer) 100 t	141,75	3,375
Unidad tractor-plataforma rodante (Roll-trailer) 120 t	168,75	3,375
Apiladores de alcance (reach stackers)	405	1,08
Unidad tractor-semirremolque y sistemas multiplataforma-50 t	101,25	3,375
Unidad tractor-semirremolque y sistemas multiplataforma-65 t	87,75	3,375
Camión volquete de 200 t	877,5	1,35
Camión volquete de 240 t	1012,5	1,35
Camión volquete de 400 t	1485	1,35

Fuente: Elaboración propia

3.2 ÍNDICES DE INTENSIDAD DE USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS

La intensidad de uso es junto con las cargas aplicadas el dato fundamental para definir la categoría del tráfico en una superficie portuaria. La intensidad de uso, de acuerdo con las definiciones que se dan a continuación para cada caso, da idea por una parte del número de veces que durante la vida útil se aplican unas determinadas cargas en una superficie; pero sobre todo, representa la mayor o menor importancia de esa superficie en relación con la explotación portuaria y, por tanto, la mayor o menor importancia de los deterioros que se pudieran producir en un firme.

Para evaluar la intensidad de uso se ha recurrido a establecer una serie de *índices de explotación portuaria* que deben ser estimados por el proyectista o por la Autoridad Portuaria correspondiente. Estos índices se refieren a una determinada magnitud de explotación por año y se establecen para el año medio de la vida útil, es decir, se totaliza dicha magnitud para la vida útil y se divide por el número de años de la misma. En el caso concreto de los viales de acceso se ha de recurrir a la intensidad media diaria de vehículos pesados en el año medio de la vida útil.

Debe ponerse de manifiesto la dificultad de estimar los índices de explotación portuaria (otra cosa sería determinarlos en una instalación en funcionamiento), por lo que la fiabilidad de esa estimación puede resultar discutible. Sin embargo, hay que considerar que se trata de una forma de relacionar la importancia de los firmes y pavimentos con la actividad portuaria esperada (independientemente de que siempre se debería tender a que los rendimientos de la misma fueran los máximos posibles). Al clasificar las diversas intensidades de uso en función de los valores de estos índices, se ha procurado establecer unos rangos muy amplios de manera que se minimice la trascendencia de un posible error en la estimación.

La intensidad de uso de las superficies portuarias está directamente ligada al medio de transporte terrestre utilizado en la transferencia de la mercancía (en especial en las zonas de operaciones). Por ejemplo, cuando el transporte terrestre se realiza en una terminal fundamentalmente por ferrocarril, la intensidad de uso de la misma suele ser elevada y sin embargo la afección a los firmes será probablemente menor que en una terminal con

menor intensidad de uso, pero en la que el transporte se realice mediante equipos sobre neumáticos.

En cuanto a las zonas de almacenamiento se pueden distinguir dos situaciones diferentes: que las superficies de circulación de los equipos no estén diferenciadas física y permanentemente de las destinadas al depósito de la mercancía, lo que constituye la situación más general; o bien que las superficies de circulación de los equipos estén diferenciadas física y permanentemente de las destinadas al depósito de la mercancía. En este último caso, análogamente a como se verá más adelante al clasificar las cargas de cálculo, se pueden establecer dos índices de explotación distintos, uno para cada tipo diferenciado de superficie, determinando por tanto dos intensidades de uso distintas.

A continuación, se clasifican los índices de explotación portuaria representativos de la intensidad de uso para que el proyectista pueda determinar en cada caso la combinación carga de cálculo-intensidad de uso según la superficie de que se trate y así, poder definir la categoría de tráfico correspondiente.

Los índices definidos (referidos en todos los casos al año medio de la vida útil) distinguen las intensidades de uso en: reducidas, medias o elevadas. Se ha pretendido, que la intensidad media cubra la mayor parte de las situaciones que se pueden dar en un puerto. A falta de datos, la intensidad de uso se clasificará en cualquier caso como MEDIA.

El proceso seguido para establecer los valores de las intensidades de uso que marcan los límites de los intervalos de clasificación de las mismas es el siguiente. La clasificación en tres categorías marca los límites inferior y superior de los intervalos, dependiendo del tipo de zona portuaria. En función del tipo de mercancía: graneles sólidos, mercancía general, contenedores, estacionamiento de semirremolques, vías de maniobra y viales de acceso se diferenciaron entre:

- Uso comercial, uso industrial, uso militar, uso pesquero y uso deportivo.
- Zona de almacenamiento y zona de operación

Para ello se recopilaron los índices de explotación en gran parte de las terminales de puertos del sistema portuario de titularidad estatal, particularmente los referentes a cargas

totales soportadas en miles de toneladas (y miles de TEUs en el caso de almacenamiento de contenedores).

De estos índices se analizaron los valores de “toneladas de carga por metro de línea de atraque” para las zonas de operación y de “toneladas de carga por metro cuadrado de superficie” (TEUs/m y TEUs/m² en el caso de contenedores). A partir de ellos se realizó un análisis estadístico, que establece las intensidades de uso que marcan los intervalos para clasificar las intensidades de uso actuales: reducidas, medias y elevadas.

En el caso específico de las terminales de contenedores se constata una disminución de la carga transmitida según aumenta la altura de apilamiento. De tal forma que para establecer la carga característica de un apilamiento de varias alturas se debe aplicar un coeficiente reductor, suponiendo que la ocurrencia del peso característico en alturas sucesivas disminuye con la altura según:

$$C = P_c \cdot i \cdot k_i; \text{ donde:}$$

C: es la carga característica que ha de considerarse sobre el pavimento en un apilamiento de contenedores

P_c: es el peso característico de un contenedor

i: es el número de alturas del almacenamiento

k_i: es un coeficiente corrector en función de las alturas de almacenamiento (*i*)

TABLA 3.12. COEFICIENTES REDUCTORES DEL PESO CARACTERÍSTICO EN FUNCIÓN DE LAS ALTURAS SEGÚN EL TIPO DE MOVIMIENTO DE CONTENEDORES

Alturas	Coeficientes reductores (ki) del peso característico			Pesos característicos finales (kg)		
	Tránsito	Origen/destino	Autoabastecimiento	Tránsito	Origen/destino	Autoabastecimiento
1	1	1	1	26.500	25.900	26.200
2	0,92	0,92	0,93	48.700	47.800	48.500
3	0,88	0,89	0,89	70.200	69.100	70.300

4	0,86	0,87	0,88	91.300	90.100	91.700
5	0,85	0,86	0,86	112.100	110.800	112.900

Fuente: Estudio sobre el peso de contenedores manipulados en los puertos españoles y la naturaleza de las mercancías en ellos contenidas. Ed. Puertos del Estado.

Una vez especificado el método a seguir para la clasificación de intensidades de uso, en los siguientes apartados se procede a mostrar de manera detallada los cálculos realizados, diferenciando entre zonas en función de la tipología de mercancía albergada.

3.2.1 Uso comercial

A falta de datos más precisos, las mercancías manipuladas por rodadura se obtendrán aplicando a las mercancías totales (embarcadas más desembarcadas) un multiplicador con los siguientes valores, según el sistema principal de manipulación:

Rodadura	1,00
Elevación	0,30
Rodadura y elevación	0,70
Continuos	0,10

Si se carece de datos de proyecto o de explotación portuaria se considerará que toda la manipulación se lleva a cabo por rodadura, y en el caso de que la entrada y salida de la mercancía se realizará fundamentalmente por ferrocarril, se debe también considerar un coeficiente multiplicador de 0,10.

Los valores de carga por unidad de superficie de almacenamiento dan una idea bastante fiable del grado de utilización actual de las terminales nacionales y por tanto, posibilitan el establecer, para cada tipología de zona de almacenamiento de uso comercial (en función de la carga), una serie de intervalos de variación de la intensidad de uso, para su posterior clasificación como: Reducida, Media y Alta.

En la siguiente tabla 3.13 se muestran las intensidades de uso máximas por unidad de superficie en el año medio de la vida útil para uso: comercial, tanto para la zona de

operación almacenamiento (de graneles sólidos, mercancía general, contenedores, etc.), como para las zonas de almacenamiento (de graneles sólidos, mercancía general, contenedores, etc.) y las zonas complementarias (circulación y estacionamiento).

3.2.2 Otros usos

En la siguiente tabla 3.14 se muestran las intensidades de uso máximas en el año medio de la vida útil para otros usos diferentes al comercial (usos industrial, militar, pesquero y deportivo). Tanto para las zonas de operación como de almacenamiento y complementarias (circulación y estacionamiento).

TABLA 3.13. INTENSIDADES DE USO: USO COMERCIAL

	REDUCIDA	MEDIA	ELEVADA
Zona operaciones			
Graneles sólidos $I_{1.1}$ (T/m)	$I_{1.1} < 585$	$585 \leq I_{1.1} \leq 2.990$	$I_{1.1} > 2.990$
Mercancía General $I_{1.2}$ (T/m)	$I_{1.2} < 220$	$220 \leq I_{1.2} \leq 1.340$	$I_{1.2} > 1.340$
Contenedores $I_{1.3}$ (TEU/m)	$I_{1.3} < 75$	$75 \leq I_{1.3} \leq 535$	$I_{1.3} > 535$
Zona almacenamiento			
Graneles sólidos $I_{1.4}$ (T/m ²)	$I_{1.4} < 5$	$5 \leq I_{1.4} \leq 55$	$I_{1.4} > 55$
Mercancía General $I_{1.5}$ (T/m ²)	$I_{1.5} < 3$	$3 \leq I_{1.5} \leq 17$	$I_{1.5} > 17$
Contenedores $I_{1.6}$ (TEU/m ²)	$I_{1.6} < 0,2$	$0,2 \leq I_{1.6} \leq 3,5$	$I_{1.6} > 3,5$
Semirremolque ^a $I_{1.7}$ (TEU/m ² ó T/m ²) ^b	$I_{1.7} < 0,7$ TEU/m ² ó $I_{1.7} < 3$ T/m ²	$0,7 \leq I_{1.7} \leq 2,2$ TEU/m ² ó $3 \leq I_{1.7} \leq 12$ T/m ²	$I_{1.7} > 2,2$ TEU/m ² ó $I_{1.7} > 12$ T/m ²
Vías de maniobra	Intensidad de uso más elevada entre las determinadas en las zonas comunicadas por la vía de maniobra		
Vía de acceso	Intensidad media diaria de vehículos pesados de la Instrucción 6.1 - 2 IC para el año medio de la vida útil.		
Zona complementaria			
Circulación	Intensidad media diaria de vehículos pesados de la Instrucción 6.1 - 2 IC para el año medio de la vida útil.		
Estacionamiento ^c	Menos de 10 plazas	Entre 10 y 100 plazas	Más de 100 plazas
^a En el caso en que sobre un número apreciable de semirremolques se almacenen y trasladen elementos que no sean ni cajas móviles ni contenedores (por ejemplo, bobinas), se considerará a los efectos de la estimación de esta intensidad de uso que 1 semirremolque de 40 pies (12 m) equivale a 2 TEU y que 1 semirremolque de 20 pies (6 m) equivale a 1 TEU ^b Si los índices de explotación en estas zonas sólo se pudiesen estimar en toneladas de carga transportada y no se dispusiese de las correspondientes equivalencias en TEUs, se considerará a los efectos de la estimación que			

11 t equivalen a 1 TEU. Por otra parte, si la zona de estacionamiento de semirremolques no estuviera dedicada en exclusiva a tal fin, por ejemplo, por estar asignada a un atraque mixto o multipropósito, y en consecuencia se pudieran realizar en ella otros tipos de almacenamientos, el índice de explotación se expresará, adoptando las equivalencias indicadas, en toneladas por unidad de superficie en el año medio de la vida útil: $1_{1.5}$ (t/m²)

^e Número total de plazas de estacionamiento disponibles en la zona

Fuente: Elaboración propia

TABLA 3.14. INTENSIDADES DE USO: OTROS USOS

USO	REDUCIDA	MEDIA	ELEVADA
USO INDUSTRIAL			
Zona operación I _{2.1} (T/m)	I _{2.1} < 650	650 ≤ I _{2.1} ≤ 3.300	I _{2.1} > 3.300
Zona almacenamiento I _{2.2} (T/m ²)	I _{2.2} < 3	3 ≤ I _{2.2} ≤ 12	I _{2.2} > 12
USO MILITAR			
Zona operación I _{3.1} (T/m)	I _{3.1} < 650	650 ≤ I _{3.1} ≤ 3.300	I _{3.1} > 3.300
Zona almacenamiento I _{3.2} (T/m ²)	I _{3.2} < 3	3 ≤ I _{3.2} ≤ 12	I _{3.2} > 12
USO PESQUERO			
Zona operación I _{4.1} (T/m)	I _{4.1} < 10	10 ≤ I _{4.1} ≤ 100	I _{4.1} > 100
Zona almacenamiento^a I _{4.2} (T/m ²)	I _{4.2} < 0,4	0,4 I _{4.2} ≤ 4	I _{4.2} > 4
USO DEPORTIVO			
Zona operación o varada^b I _{5.1} (T/m)	I _{5.1} < 100	100 ≤ I _{5.1} ≤ 1000	I _{5.1} > 1.000
Vías de maniobra	Intensidad de uso más elevada entre las determinadas en las zonas comunicadas		
Vía de acceso	Intensidad media diaria de vehículos pesados de la Instrucción 6.1-2IC		
Zona complementaria			
Circulación	Intensidad media diaria de vehículos pesados de la Instrucción 6.1-2IC		
Complementarias (estacionamiento)	Menos de 10 plazas	Entre 10 y 100 plazas	Más de 100 plazas
^a Clasificación, preparación y venta			
^b Operaciones de atraque más desatraque de embarcaciones deportivas con seis (6) metros o más de eslora en el año medio de la vida útil			

Fuente: Elaboración propia

3.3 CARGAS DE CÁLCULO SEGÚN EL USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS

En este apartado se analizan y clasifican los valores de las cargas aplicadas para que el proyectista pueda determinar en cada caso la combinación carga-intensidad según la superficie de que se trate y así poder definir la categoría de tráfico correspondiente. Las cargas de cálculo se clasifican como bajas, medias o altas para las diferentes situaciones posibles, llamándose la atención sobre el hecho de que las cargas de cálculo clasificadas de la misma manera para situaciones diferentes no son necesariamente equivalentes. Por tanto, la clasificación de la carga de cálculo y en consecuencia de la categoría de tráfico, no pueden desligarse del uso de la superficie.

Para cada zona portuaria (zona de operación y zona de almacenamiento) se distingue entre cargas de almacenamiento (que hacen referencia a las cargas de estacionamiento y almacenamiento) y cargas de manipulación (que hacen referencia a las cargas de los equipos o vehículos de manipulación de mercancías). A fin de combinar la carga con la intensidad de uso y obtener la categoría de tráfico, se tomará con carácter general como clasificación de la carga de cálculo en cada zona, la carga más elevada entre las dos determinadas.

En las zonas de almacenamiento, en el caso de que exista diferenciación física y permanente entre las superficies de circulación de los equipos y las destinadas al depósito de la mercancía, se trabajará independientemente con las dos cargas de cálculo establecidas, determinando consiguientemente una categoría de tráfico para cada superficie diferenciada.

La clasificación fundamentalmente cualitativa de las cargas de cálculo que se presenta a continuación debe entenderse como una simplificación aceptable para el objetivo de dimensionar los firmes. Por tanto, y en la medida en que disponga de datos cuantitativos más precisos, el proyectista puede optar por realizar su propia caracterización y clasificación de cargas, siempre que se respeten los principios generales expuestos tanto en esta Parte 3 como en la Parte 6.

3.3.1 Uso Comercial

3.3.1.1 Zonas de operación

En el caso de la carga de cálculo de manipulación en zona de operación se tendrán en cuenta los equipos previstos y por tanto de las cargas que se transmiten al pavimento en cada rueda, en cada par de ruedas gemelas o en general en cada punto de apoyo. Si se dispone de datos precisos la clasificación se podrá realizar en función de las cargas Q_v y presiones p_v que se transmiten al pavimento en cada caso (ver tabla 3.15).

Por su parte, la carga de cálculo de almacenamiento en zona de operación (salvo en terminales especializados y siempre que no se disponga de criterios específicos de proyecto o de explotación) se considerará siempre ALTA por razones de operatividad de las superficies portuarias o en previsión de futuros cambios en la explotación. En terminales especializados, también a falta de criterios específicos, se considerará la siguiente clasificación: graneles líquidos: BAJA, graneles sólidos: MEDIA, mercancía general: MEDIA, contenedores: ALTA y cargas ro-ro: MEDIA. Por último, si se dispone de datos precisos la clasificación se podrá realizar en función de las cargas Q_v y presiones P_v que se transmiten al pavimento en cada caso (ver tabla 3.15).

TABLA 3.15. CARGAS DE CÁLCULO EN ZONAS DE OPERACIÓN

Q_v KN (0,1 T) P_v 1MPa= 10 kg/cm²	Carga equipos manipulación	Carga almacenamiento
Zona de operación (general para Uso Comercial)		
BAJA	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$ Simultáneamente ^a	$Q_v < 100 \text{ KN}$ y $p_v < 0,7 \text{ MPa}$ Simultáneamente ^d
MEDIA	$Q_v \leq 700 \text{ KN}$ y $p_v > 1,3 \text{ MPa}$ ó $Q_v \geq 160 \text{ KN}$ y $p_v < 1,3 \text{ MPa}$ ^b	$300 \text{ KN} \leq Q_v$ y $p_v > 2,5 \text{ MPa}$ ó $100 \text{ KN} \leq Q_v$ y $p_v < 2,5 \text{ MPa}$ ^e
ALTA	$Q_v > 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ simultáneamente ^c	$Q_v > 300 \text{ KN}$ y $p_v > 2,5 \text{ MPa}$ simultáneamente ^f
^a caso cargador frontal de 20, 15 y 10 t y caso en que la manipulación se realice exclusivamente con equipos circulando sobre vigas o sobre carriles o con medios continuos ^b caso de cargador lateral y apiladores de alcance de cualquier capacidad de carga, caso de carretilla pórtico y lanzadera, caso de grúa automóvil de 35 t de capacidad de carga y caso cargador frontal de 30, 45 y 50 t		

^c caso de grúas automóbiles de 40, 60 85, 100 y 150 toneladas, caso de unidad tractor-plataforma rodante con cualquier capacidad de carga, y caso de unidad tractor-semirremolque de 50 y 65 t

^d caso de mercancía general convencional no paletizada ordinaria y pesada, caso de mercancía general convencional paletizada ordinaria y caso de graneles sólidos

^e caso de mercancía general convencional paletizada pesada y caso de contenedores de 20 pies en 1 altura

^f caso de contenedores de 40 pies almacenados en 1 y 2 alturas y caso de contenedores de 20 pies en 2 alturas

Fuente: Elaboración propia

Independientemente de esta clasificación, el proyectista debe valorar la pertinencia de considerar una carga de cálculo ALTA, ya que un eventual fallo en los equipos de muelle o la necesidad de manipular una mercancía especial pueden obligar al empleo de grúas automóbiles muy pesadas.

3.3.1.2 Zonas de almacenamiento

Carga de cálculo de equipos de manipulación

Las cargas de manipulación transmitidas en zona de almacenamiento dependerán de los equipos y por tanto de las cargas Q_v y presiones P_v que transmitan al pavimento en cada rueda, en cada par de ruedas gemelas o en general en cada punto de apoyo.

- En el caso de graneles sólidos la carga será BAJA si $Q_v < 160 \text{ kN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$, simultáneamente o MEDIA si $160 \text{ kN} \leq Q_v$ o bien $1,1 \text{ MPa} \leq P_v$.
- En el caso de mercancía general, contenedores y semirremolques se seguirán idénticos criterios siendo la carga BAJA si $Q_v < 160 \text{ kN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$ simultáneamente, MEDIA si $Q_v \leq 700 \text{ kN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ ó bien $Q_v \geq 160 \text{ kN}$ y $P_v < 1,3 \text{ MPa}$, y ALTA si $Q_v > 700 \text{ kN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ simultáneamente.

Carga de cálculo de almacenamiento

A falta de datos precisos de proyecto, en *zonas de almacenamiento de graneles sólidos* sin instalación especial se considerará una carga de cálculo de almacenamiento BAJA en el caso de graneles sólidos ordinarios y una carga de almacenamiento MEDIA en el caso

de graneles sólidos pesados. La carga de cálculo dependerá de la densidad y la altura máxima de almacenamiento del material, siendo las presiones de contacto de $0,25 \text{ MPa} > p_v$ (en graneles sólidos ordinarios) y de $0,25 \text{ MPa} \leq p_v$ (en graneles sólidos pesados).

A falta de datos precisos de proyecto, en *zonas de almacenamiento de mercancía general convencional no paletizada* se considerará una carga de cálculo de almacenamiento BAJA, para la mercancía general convencional paletizada ordinaria se considerará una carga de cálculo MEDIA ($Q_v < 160 \text{ kN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$, simultáneamente) y para la mercancía general convencional paletizada pesada se considerará una carga de cálculo ALTA ($160 \text{ kN} \leq Q_v$ o bien $1,1 \text{ MPa} \leq P_v$).

A falta de datos precisos de proyecto, en *zonas de almacenamiento de contenedores* se considerará una carga de cálculo de almacenamiento ALTA. Estas cargas y presiones llevan, si se quiere garantizar absolutamente que no exista posibilidad de deterioro en el pavimento, a soluciones como, los adoquines prefabricados de hormigón o el hormigón armado, o con . En el caso de emplear hormigón vibrado en masa existe la posibilidad de un cierto grado de deterioro (fisuraciones), que puede considerarse admisible siempre que sea compatible con los requerimientos de la explotación y con la circulación del agua de lluvia. La carga de cálculo forma de apilamiento y por tanto de las cargas Q_v y presiones P_v que transmitan al pavimento en cada punto de apoyo. Pudiendo ser: BAJA si $Q_v < 350 \text{ KN}$ y $P_v < 4 \text{ MPa}$ simultáneamente, MEDIA si $Q_v \leq 1.100 \text{ KN}$ y $P_v > 9 \text{ MPa}$ ó bien $350 \text{ KN} \leq Q_v$ y $P_v < 9 \text{ MPa}$, y ALTA si $Q_v > 1.100 \text{ KN}$ y $P_v > 9 \text{ MPa}$.

A falta de datos precisos de proyecto, en *zonas de almacenamiento de semirremolques* se considera siempre ALTA (situación que corresponde a $Q_v = 80 \text{ kN}$ y $P_v = 45,5 \text{ MPa}$ en cada punto de apoyo). Esto se refiere al apoyo de la parte delantera del remolque desenganchado del tractor, por lo que, si se elige la solución de pavimentar para dicho apoyo sólo una franja diferenciada, es únicamente en ésta donde se considera la carga de cálculo indicada, dándose al resto de la zona el mismo tratamiento que en los viales de acceso. En caso de disponer de datos la carga de cálculo dependería en principio del tipo de semirremolque que se utilizase en la operación.

Finalmente, a continuación, se resumen (tabla 3.16) las cargas de cálculo de manipulación y de almacenamiento para graneles sólidos, mercancía general, contenedores y semirremolques en zona de almacenamiento.

TABLA 3.16. CARGAS DE CÁLCULO EN ZONAS DE ALMACENAMIENTO

Qv KN (0,1 T) Pv 1Mpa= 10 kg/cm²	Carga equipos manipulación	Carga almacenamiento
Zona de almacenamiento. Graneles sólidos		
BAJA	Qv <160KN y Pv < 1,1Mpa ^a	Pv <0,25 MPa Graneles ordinarios
MEDIA	Qv ≥ 160KN ó Pv ≥ 1,1 MPa ^b	Pv ≥ 0,25 MPa Graneles pesados
Zona de almacenamiento. Mercancía general		
BAJA	Qv <160KN y Pv < 1,1Mpa simultáneamente	No paletizada
MEDIA	Qv ≤ 700 KN y Pv > 1,3 MPa ó Qv ≥ 160 KN y Pv < 1,3 MPa	Qv < 160 KN y Pv < 1,1 MPa Paletizada ordinaria
ALTA	Qv > 700 KN y Pv > 1,3 MPa simultáneamente	Qv ≥ 160KN y Pv ≥ 1,1 MPa Paletizada pesada
Zona de almacenamiento. Contenedores		
BAJA	Qv <160KN y Pv < 1,1MPa simultáneamente	Qv < 350 KN y Pv < 4 MPa Hasta 2 alturas
MEDIA	Qv ≤ 700 KN y Pv > 1,3MPa ó 160 KN ≤ Qv y Pv < 1,3 MPa	Qv ≤ 1.100 KN y Pv > 9 MPa ó 350 KN ≤ Qv y Pv < 9 MPa ^c
ALTA	Qv > 700 KN y Pv > 1,3 MPa simultáneamente	Qv > 1.100KN y Pv > 9 MPa Solo cont. en 4-5-6 alturas
Zona de almacenamiento. Semirremolques ^d		
BAJA	Qv <160KN y Pv < 1,1Mpa simultáneamente	
MEDIA	Qv ≤ 700 KN y Pv > 1,3 MPa ó Qv ≥ 160 KN y Pv < 1,3 MPa	
ALTA	Qv > 700 KN y Pv > 1,3 MPa simultáneamente	Qv = 80KN y Pv = 45,5 MPa En cada apoyo
^a está incluido el caso en que la manipulación se realice exclusivamente por medios continuos ^b caso de grúas automóbiles y caso de camiones volquete de 20, 24 y 40 t ^c todas las situaciones de almacenamiento, salvo las indicadas para cargas BAJA y ALTA ^d no tiene efectos prácticos en la determinación de la categoría del tráfico, pues la carga de cálculo de almacenamiento es siempre ALTA		

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.3 Otras zonas

En vías de maniobra, en viales de acceso y en zonas complementarias (circulación y estacionamiento) se tendrán en consideración los siguientes aspectos:

A las vías de maniobra se les asignará como clasificación de la carga de cálculo la más elevada entre las establecidas al analizar las cargas de cálculo de manipulación en las diversas zonas a las que comunica dicha vía de maniobra.

En los viales de acceso y en las zonas complementarias (circulación) la carga de cálculo será la correspondiente al vehículo pesado de carretera con el sentido dado en la *Instrucción 6.1 y 2 IC de secciones de firme*: semiejes con ruedas gemelas con cargas de 65 kN y presiones no superiores en general a 0,9 MPa. Tal como se determina la categoría de tráfico en la citada Instrucción (según intensidades medias diarias de vehículos pesados) no procede en este caso la clasificación de la carga de cálculo.

Finalmente, en las zonas de estacionamiento se considerará el destino de las plazas de estacionamiento disponibles: BAJA: Estacionamiento exclusivo de vehículos ligeros, MEDIA: Estacionamiento de vehículos pesados y ligeros y ALTA: Estacionamiento exclusivo de vehículos pesados.

3.3.2 Otros usos

3.3.2.1 Zonas de Operación

Para las zonas de operación en los usos **industrial** y **militar** se consideran idénticos criterios de clasificación a los expuestos para las zonas de operación en uso comercial.

En el caso del uso **pesquero** para la carga de cálculo de manipulación se seguirán los mismos criterios dados en las zonas de operación de uso comercial, mientras que para la carga de cálculo de almacenamiento si se dispone de datos la clasificación se podrá hacer en función de las cargas Q_v y presiones P_v que se transmiten al pavimento en cada caso, considerándose: BAJA si $Q_v < 100$ kN y $P_v < 0,7$ MPa simultáneamente, MEDIA si $Q_v \leq 300$ kN y $P_v > 2,5$ MPa, o bien, 100 kN $\leq Q_v$ y $P_v < 2,5$ MPa y ALTA si $Q_v > 300$ kN y $P_v >$

2,5 MPa simultáneamente. En ausencia de datos precisos, la clasificación se hará según el tipo de buques a los que da servicio el muelle, considerando una carga de cálculo BAJA para buques destinados exclusivamente a pesca de bajura y MEDIA para buques destinados tanto a pesca de altura como de bajura.

En el caso del uso deportivo para la carga de cálculo de manipulación en zonas de operación o varada se seguirán los mismos criterios dados en las zonas de operación de uso comercial. En el caso de las cargas de cálculo de almacenamiento si se dispone de datos precisos la clasificación se podrá hacer en función de las cargas Q_v y presiones P_v que se transmiten al pavimento en cada caso considerándose: BAJA si $Q_v < 100$ kN y $P_v < 0,7$ MPa simultáneamente, MEDIA si $Q_v \leq 300$ kN y $P_v > 2,5$ MPa, o bien, 100 kN $\leq Q_v$ y $P_v < 2,5$ MPa, y ALTA si $Q_v > 300$ kN y $P_v > 2,5$ MPa simultáneamente. En ausencia de datos precisos, la clasificación se hará según el tipo de embarcaciones deportivas a las que da servicio el muelle, considerando una carga BAJA exclusivamente para embarcaciones con menos de 6 m de eslora, una carga MEDIA para embarcaciones de cualquier eslora.

3.3.2.2 Zonas de almacenamiento

Para las cargas de manipulación y de almacenamiento en las zonas de almacenamiento en los usos industrial y militar se consideran idénticos criterios de clasificación a los expuestos en las zonas de almacenamiento de uso comercial para mercancía general. Para la carga de almacenamiento en el uso militar se considerará, además, la posibilidad exclusivamente del caso más desfavorable de almacenamiento de semirremolques, tomándola siempre como ALTA (situación que corresponde a $Q_v = 80$ kN y $P_v = 45,5$ MPa en cada punto de apoyo).

Para las cargas de cálculo de manipulación y de almacenamiento en las *zonas de clasificación, preparación y venta* (almacenamiento) del uso pesquero se seguirán los mismos principios generales de clasificación establecidos para la mercancía general. A falta de datos específicos la carga de cálculo de almacenamiento se considerará como MEDIA.

3.3.2.3 Otras zonas

En las vías de maniobra, viales de acceso, zonas complementarias (circulación) y zonas complementarias (estacionamiento) asociadas al uso pesquero o deportivo se utilizarán idénticos criterios a los del apartado 3.3.1.3 (uso comercial: otras zonas).

3.4 CATEGORÍAS DE TRÁFICO

Se definen cuatro categorías de tráfico según la carga de cálculo y la intensidad de uso de la superficie considerada.

Tráfico alto:	T0
Tráfico medio:	T1
Tráfico bajo:	T2

Estas categorías de tráfico son válidas para todas las superficies, excepto para los viales de acceso y las zonas complementarias de circulación en las que las categorías de tráfico a considerar son las definidas en la *Instrucción 6.1 y 2 IC de secciones de firme*. En la tabla 3.17 se recogen las categorías de tráfico como combinación de carga de cálculo e intensidad de uso de la superficie. Se tomará siempre en cada caso la categoría mayor entre todas las que resulten de los análisis que se lleven a cabo para una misma superficie. Así mismo, en caso de duda entre dos categorías se tomará siempre la mayor de las dos.

TABLA 3.17. CATEGORÍAS DE TRÁFICO (*)

Intensidad de uso	Carga de cálculo		
	ALTA	MEDIA	BAJA
ELEVADA	T0	T1	T1
MEDIA	T1	T1	T2
REDUCIDA	T1	T2	T2

(*) Excepto para viales de acceso y zonas complementarias de circulación

ÍNDICE

- 4.1 Introducción
- 4.2 Rellenos
 - 4.2.1 Clasificación
 - 4.2.2 Tratamientos de consolidación
- 4.3 Explanadas
 - 4.3.1 Definición
 - 4.3.2 Materiales
 - 4.3.3 Técnicas de mejora o estabilización
 - 4.3.4 Categorías de explanada

RELLENOS Y EXPLANADAS

Se exponen los criterios fundamentales para caracterizar el cimiento de los firmes, distinguiendo la coronación, cuya superficie superior recibe el nombre de explanada, la cual es el apoyo del firme, del relleno y del fondo sobre el que está dicho relleno. En última instancia se establecen unas categorías de explanada como parámetro de dimensionamiento de los firmes.

4.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los principales condicionantes en el comportamiento estructural de un firme es la capacidad de soporte de los materiales subyacentes. No sólo la parte superior de esos materiales tiene influencia en dicho comportamiento, sino que influyen también las características de materiales que se encuentran a varios metros de profundidad. En carreteras y otras infraestructuras de transporte terrestre el firme está sobre un terraplén o pedraplén convenientemente compactados o sobre el fondo de un desmonte en suelo o en roca. Sin embargo, en obras portuarias el apoyo está en general constituido por un relleno situado total o parcialmente bajo el nivel del mar (por lo que no es posible su compactación directa con los medios mecánicos habituales), situado a su vez sobre unos fondos marinos de calidad muy variable; por supuesto, también se presentan a veces situaciones similares a las habituales en carreteras, con rellenos compactados por tongadas, únicamente viables en cotas por encima del nivel del mar.

Análogamente a como en terraplenes o pedraplenes se distinguen el cimiento, los espaldones, el núcleo y la coronación, en pavimentación portuaria se distingue también entre el fondo, el relleno y la coronación. En este documento el término *explanada* (superficie de la coronación sobre la que se coloca el firme) se reserva a la superficie sobre la que se coloca el firme y cuando se alude a la categoría de la explanada se está haciendo referencia a la capacidad de soporte de todo el conjunto bajo dicha superficie.

Los fondos que están bajo los rellenos portuarios son en general los materiales existentes, no siendo posible en la mayor parte de los casos su sustitución aun tratándose de fangos

de escasa capacidad de soporte. En cuanto a los rellenos, se utilizan los materiales disponibles más próximos, lejos de las exigencias habituales en carreteras y ferrocarriles, pudiendo tratarse por tanto incluso de materiales procedentes del dragado; a este hecho se une la práctica imposibilidad de compactación, siendo posible la aplicación de técnicas de consolidación para mejorar las propiedades geotécnicas tanto del relleno como del sustrato de apoyo. Finalmente, la coronación, ejecutada por encima del nivel del agua, con materiales de una cierta calidad, en espesor suficiente y debidamente compactados permite tener un soporte aceptable del firme.

4.2 RELLENOS

En este apartado se recoge en relación a los rellenos portuarios la información mínima necesaria para el proyecto de los firmes. Para una mayor información sobre las prescripciones para el proyecto y construcción de los propios rellenos debe recurrirse a las *Recomendaciones geotécnicas para obras marítimas* (ROM 0.5-05) incluidas también en el programa ROM.

4.2.1 Clasificación

Los rellenos se pueden clasificar por su modo de colocación en dos grandes grupos: hidráulicos y de vertido directo. A su vez, cada grupo se divide en varias categorías en función del contenido de finos (ya depositados en destino), del comportamiento químico y de su naturaleza. (Tabla 4.1)

4.2.1.1 Rellenos hidráulicos

Son los rellenos conseguidos mediante un proceso de sedimentación de partículas sólidas contenidas en un efluente que procede de un dragado (ejecutado normalmente por una draga de succión). Dicho efluente se caracteriza principalmente por su caudal y por el contenido de sólidos en suspensión.

En líneas generales, la ejecución consiste en verter una corriente de agua con sólidos en suspensión en un recinto cerrado y relativamente estanco. El agua se hace salir por un vertedero dispuesto en uno de los extremos del recinto, de manera que, estando los

puntos de vertido y de desagüe separados lo más posible, en su recorrido se vayan sedimentando los sólidos que forman el relleno y los materiales finos se concentren junto al punto de desagüe para luego extraerlos (siempre que no existan restricciones, por ejemplo, ambientales al respecto).

TABLA 4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS RELLENOS PORTUARIOS

RELLENOS DE VERTIDO DIRECTO	NATURALES	VD-1	Rellenos buenos: menos del 10 % de finos*
		VD-2g	Rellenos regulares granulares: entre el 10 y el 35 % de finos
		VD-2c	Rellenos regulares finos: entre el 35 y el 50 % de finos
		VD-3	Rellenos malos: con más del 50 % de finos
		VD-Q	Rellenos cuyo análisis químico supera alguno de estos umbrales: <ul style="list-style-type: none"> ▪ sales solubles superior al 1%; ▪ materia orgánica superior al 5 %; ▪ contenido en yeso superior al 5 %. Requieren un estudio específico de su comportamiento en el agua de mar. Si la valoración es favorable, posteriormente se puede equiparar a alguno de los 4 grupos anteriores.
	SINGULARES (No convencionales ó de origen antrópico)	VD-S	Requieren un estudio específico, sin perjuicio de que cumplan las restricciones medioambientales. Si la valoración es favorable, se puede equiparar a alguno de los 4 primeros grupos
RELLENOS HIDRÁULICOS	RH-1	Rellenos buenos: rellenos hidráulicos con menos del 10 % de finos	
	RH-2g	Rellenos regulares granulares: rellenos hidráulicos entre el 10 y el 35 % de finos	
	RH-2c	Rellenos regulares finos: rellenos hidráulicos entre el 35 y el 50 % de finos	
	RH-3	Rellenos malos: rellenos hidráulicos con más del 50 % de finos	
	RH-MO	Suelos cuyo análisis químico señala un contenido de materia orgánica superior al 5 %. Requieren un estudio específico de su comportamiento. Si la valoración es favorable, se puede equiparar a alguno de los 4 grupos anteriores	

Fuente: Elaboración propia

Los rellenos hidráulicos son los que posiblemente presentan más a menudo la mejor relación calidad/precio.

En el caso de los rellenos hidráulicos no se consideran limitaciones en cuanto al contenido de sales solubles y yesos por entenderse que, al ser materiales de dragado, la capacidad de disolución del agua en el relleno queda limitada.

Según el contenido de finos (materiales de tamaño inferior a 0,08 mm) y del porcentaje de materia orgánica, determinado sobre el conjunto del material en su punto de destino, los rellenos hidráulicos se pueden clasificar de la siguiente forma:

- RH-1: Rellenos buenos: rellenos hidráulicos con menos del 10 % de finos
- RH-2g: Rellenos regulares granulares: rellenos hidráulicos entre el 10 y el 35 % de finos
- RH-2c: Rellenos regulares granulares: rellenos hidráulicos entre el 10 y el 35 % de finos
- RH-3: Rellenos malos: rellenos hidráulicos con más del 50 % de finos
- RH-MO: Suelos cuyo análisis químico señala un contenido de materia orgánica superior al 5 %. Requieren un estudio específico de su comportamiento. Si la valoración es favorable, se puede equiparar a alguno de los 4 grupos anteriores

4.2.1.2 *Rellenos de vertido directo*

El vertido directo se produce cuando la forma de ejecutar el vertido del material de relleno se realiza mediante gánguiles o desde tierra. En el caso de vertido con gánguiles de charnela no se alcanza la cota de coronación, pero si se puede llegar 3 o 4 metros por debajo del nivel de la pleamar.

Los rellenos sumergidos realizados mediante vertido directo de productos controlados en origen tienen igual composición granulométrica y plasticidad (esta última, en el caso de

materiales arcillosos) que la que se deduce de los ensayos de control en origen cuando el transporte es por vía seca (camiones, cintas transportadoras, etc.). Su densidad y estructura, sin embargo, sólo se pueden conocer mediante ensayos a posteriori. El proceso de colocación se puede simular mediante ensayos singulares, por ejemplo, con celdas de decantación.

Se han dejado fuera de esta clasificación los materiales identificados como todo uno y pedraplén al considerar que su uso, de forma general, queda limitado al relleno del trasdós de los cajones y muy escasas veces al relleno general aquí analizado. No obstante, dado su uso en otras unidades de obras marítimas, su definición y detalle se recogen en el apartado 4.3.2

Según los materiales empleados se pueden distinguir los siguientes tipos de rellenos de vertido directo:

- VD-1: Rellenos buenos: menos del 10 % de finos *Entendiéndose por fino un tamaño de partícula que pasa por el tamiz 0,08 UNE*
- VD-2g: Rellenos regulares granulares: entre el 10 y el 35 % de finos
- VD-2c: Rellenos regulares finos: entre el 35 y el 50 % de finos
- VD-3: Rellenos malos: con más del 50 % de finos
- VD-Q: Rellenos cuyo análisis químico supera alguno de estos umbrales:
 - o Rellenos cuyo análisis químico supera alguno de estos umbrales:
 - sales solubles superior al 1%;
 - materia orgánica superior al 5 %;
 - contenido en yeso superior al 5 %.
 - o Requieren un estudio específico de su comportamiento en el agua de mar. Si la valoración es favorable, posteriormente se puede equiparar a alguno de los 4 grupos anteriores.

- VD-S: Requieren un estudio específico, sin perjuicio de que cumplan las restricciones medioambientales. Si la valoración es favorable, se puede equiparar a alguno de los 4 primeros grupos. Los rellenos antrópicos son los realizados con productos de desecho: escombros y basuras fundamentalmente. Su gran heterogeneidad los hace en principio muy poco aconsejables, pero constituyen una opción no desdeñable cuando no existe la opción de

conseguir con un coste razonable otros materiales de relleno. Sin embargo, se deben proscribir en cualquier caso las basuras con desechos orgánicos.

El epígrafe VD-S de rellenos no convencionales básicamente se refiere a los formados por subproductos o residuos industriales, principalmente escorias y cenizas volantes. Las escorias más habituales son las siderúrgicas, procedentes tanto de horno alto (escorias cristalizadas, pues las granuladas se suelen destinar a otros usos) como de acería. Por su parte, las cenizas volantes proceden de las centrales térmicas de carbón. Con ambos tipos de materiales se pueden conseguir rellenos de una calidad excelente, la cual mejora con el tiempo debido a la presencia de compuestos puzolánicos. En el caso de las escorias, se puede incluso prescindir de la capa de coronación, siempre que esté controlado el contenido de cal libre de los materiales que se encuentren por encima del nivel del mar.

Sobre todo, en los rellenos antrópicos, pero también en algunos rellenos no convencionales, pueden aparecer problemas tales como:

- Contaminación física, química y/o biológica del medio marino y su entorno por fuga de elementos no controlados y su acumulación en zonas no deseadas.

- Importantes cambios de volumen por fenómenos de expansividad de determinados subproductos (por ejemplo, algunas escorias de acería).

- Deformabilidad excesiva, ya que generalmente el vertido se realiza sin control de la compactación, salvo en la zona por encima del nivel del mar. Este problema, común a cualquier relleno marino, se puede acentuar con estos materiales o residuos, pues su deformabilidad puede ser mayor que la de otros materiales convencionales de análoga granulometría.

- Heterogeneidad de su comportamiento y por tanto de las soluciones aplicables.

4.2.2 Rango de valores orientativos de propiedades geotécnicas en función del tipo de relleno

En la tabla 4.2 se recoge una propuesta de rango de valoración de las propiedades geotécnicas esperables de los diferentes materiales de relleno considerados en la clasificación propuesta

TABLA 4.2 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS ESPERABLES

TIPO DE MATERIAL	Peso Específico Seco γ_d (kN/m ³)	Resistencia al Corte			Módulo de Deformación $E^{(3)}$ (MN/m ²)	Coeficiente de Consolidación C_v (cm ² /s)
		Sin drenaje	Con drenaje			
		$S_u^{(1)}$ (kN/m ²)	c (kN/m ²)	$\phi^{(2)}$ (°)		
VD-1	14 - 16	0	0	30 - 35	8 - 16	-
VD-2g	12 - 16	0	0	25 - 30	6 - 14	-
VD-2c	10 - 14	0 - 5	0	18 - 28	3 - 8	$5 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}$
VD-3	10 - 14	0 - 20	0 - 5	16 - 22	2 - 4	$\geq 10^{-4}$
RH-1	14 - 16	0	0	30 - 35	8 - 12	-
RH-2g	12 - 16	0	0	25 - 30	6 - 12	-
RH-2c	8 - 12	0 - 5	0	18 - 25	3 - 6	$5 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}$
RH-3	8 - 12	0 - 15	0	16 - 22	1 - 3	$\geq 10^{-4}$

(1) $\sigma'_v = 10 \text{ Tn/m}^2$

(2) El ángulo de rozamiento de las escolleras y todo-uno de cantera puede disminuir al aumentar la presión de confinamiento. El ángulo de rozamiento aparente para cálculos de estabilidad a largo plazo en materiales finos (>50%) es el considerado para el estado de consolidación por peso propio.

(3) Módulo de descarga-recarga correspondiente a pequeños cambios de carga. La compresibilidad para suelos con gran cantidad de finos (>50%) se mide mejor con el índice de compresión, C_c .

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Tratamientos de consolidación

En la mayoría de los casos, la calidad de los rellenos recién construidos no es la adecuada para su utilización como cimiento de un firme definitivo. Los rellenos portuarios, por su naturaleza variada, su baja capacidad de soporte en general y su extensión en áreas relativamente grandes requieren la aplicación de técnicas de mejora del terreno si se quiere construir un firme definitivo sin gran demora de tiempo. Sin embargo, hay que destacar que los asentamientos esperables se deben tanto a la naturaleza de los fondos como a la del propio relleno. En cualquier caso, estos asentamientos no sólo provocan, cuando se producen de manera no uniforme, deformaciones inaceptables en los firmes, sino que originan escalonamientos en las juntas en los muelles, los cuales a su vez son causa de problemas en los rellenos.

Las técnicas más adecuadas en cada caso van a depender del tipo y características del relleno. Hay que conocer por tanto la naturaleza del relleno y estimar el estado de compactación o consistencia en que se va a encontrar tras su ejecución, de manera que se pueda determinar si realmente se necesita o no, y en qué medida mejorar sus características. Uno de los datos más importantes es la profundidad del relleno, que condicionará la eficacia del método a utilizar.

Cuando se trata de rellenos granulares, lo que importa es la densidad relativa, de la que dependen casi exclusivamente su resistencia, su deformabilidad o compresibilidad y la susceptibilidad a la licuefacción. Lo que se pretende en estos casos es aumentar la densidad relativa en la medida en que sea necesario.

Si se trata de rellenos cohesivos, habrá que determinar su plasticidad y sus condiciones de estado (densidad seca y humedad natural). También interesa conocer su resistencia al corte sin drenaje, su módulo edométrico y su coeficiente de consolidación.

Es muy importante considerar la influencia del tratamiento de consolidación del relleno en la consolidación de los fondos sobre los que se apoya. Así mismo, hay que valorar comparativamente los costes económicos de los distintos tratamientos y en definitiva su

relación coste/eficacia. Estos análisis son los que realmente deben servir para tomar la decisión sobre el tratamiento a llevar a cabo en cada caso.

A efectos orientativos en la tabla 4.3 se recoge una propuesta de los tratamientos considerados como más frecuentes, así como posibles alternativas de tratamientos, en función de los distintos materiales considerados en la clasificación de los rellenos.

TABLA 4.3 PROPUESTA DE TRATAMIENTOS DE CONSOLIDACIÓN

TIPO DE MATERIAL	Tratamiento frecuente	Alternativas de tratamiento
VD-1	Precarga sin drenes	Vibro-Flotación; Compactación Dinámica
VD-2g	Precarga sin drenes	Vibro-Flotación; Compactación Dinámica; Vibro-Sustitución; Columnas de Grava
VD-2c	Precarga con drenes	Precarga Sin Drenes; Vibro-Sustitución; Columnas de Grava; Compactación Dinámica
VD-3	Precarga con drenes	Columnas de Grava; Jet-Grouting
RH-1	Precarga sin drenes	Vibro-Flotación; Compactación Dinámica
RH-2g	Precarga sin drenes	Vibro-Flotación; Compactación Dinámica; Vibro-Sustitución; Columnas de Grava
RH-2c	Precarga con drenes	Vibro-Sustitución; Columnas de Grava; Compactación Dinámica
RH-3	Precarga con drenes	Columnas de Grava; Jet-Grouting

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.1 Tipos de tratamiento

Una primera posibilidad puede ser la de esperar sin hacer nada ni utilizar el relleno hasta que se produzcan los asientos esperados, lo que puede ser un proceso muy largo.

Una segunda opción es utilizar un firme provisional y realizar las operaciones portuarias para las que esté previsto, lo que mejorará el relleno produciendo los asientos esperados debido a las acciones derivadas de esas operaciones.

En tercer lugar, puede recurrirse a técnicas que sin ser propiamente de consolidación sirven para homogeneizar las características del relleno, lo que conduce a que los asentamientos se produzcan de manera más uniforme; es el caso de la técnica de hincado de pilotes pasivos, tradicionalmente de madera.

En cambio, cuando se decida actuar directamente sobre el relleno acelerando su consolidación las opciones son las que sucintamente se comentan a continuación y que son tratadas con mayor amplitud en ROM 0.5.-05

4.2.3.1.1 Precarga

El concepto de precarga se basa en la idea de que los terrenos que han de ser sometidos a una cierta carga, se deforman más la primera vez que tal carga actúa que en ocasiones posteriores. La primera carga deja al suelo con mayor resistencia y menor deformabilidad, aunque tal carga sea retirada. Los terrenos arcillosos, en particular, son muy sensibles a este efecto beneficioso de las precargas.

Por otro lado, conseguir el efecto deseado de las precargas puede requerir un tiempo elevado en aquellos terrenos que estén saturados. Ese tiempo es tanto mayor cuanto mayor sea el espesor de suelo blando, cuanto mayor sea su compresibilidad y cuanto menor sea su permeabilidad. Por ese motivo, las precargas aceleradas con medidas de drenaje artificial pueden ser mucho más efectivas.

La precarga es un procedimiento tan efectivo que su consideración es siempre recomendable, debido a su baja relación coste/eficacia y a su influencia en la consolidación de los fondos sobre los que se apoya el relleno. En cada caso particular y en función de las condiciones concretas de cada lugar, se conseguirán unos u otros efectos beneficiosos. El estudio de las precargas permitirá hacer una estimación razonable de estos efectos.

En la tabla 4.4 se indican unas ideas sobre las mejoras que podrían inducir las precargas en dos tipos de suelo:

TABLA 4.4 MEDURAS DE LAS PRECARGAS

	Antes de la precarga	Después de la precarga
Suelos Cohesivos Blandos (Rellenos hidráulicos con contenido de finos > 10% en peso o Rellenos cohesivos de vertido directo)		
* Peso específico seco, γ_d (kN/m ³)	12	15
* Módulo de deformación (edométrico), E_m (MPa)	2	10
* Resistencia al corte sin drenaje, S_u (kPa)	10	20
Suelos Arenosos Flojos (Rellenos hidráulicos con contenido de finos < 10% en peso o Rellenos granulares de vertido directo)		
* Densidad relativa, D_r (%)	40	70
* Módulo de elasticidad, E (MPa)	10	30
* Ángulo de rozamiento interno, ϕ	28	32

Fuente: Elaboración propia

La precarga más clásica consiste en colocar tierras sobre los rellenos artificiales o suelos naturales blandos que se quieren consolidar, de manera que se produzcan asientos al compactar el suelo bajo el peso de las tierras. Las tierras se retiran después total o parcialmente. La precarga puede conseguirse también por otros procedimientos:

- ◆ Acopio de bloques de hormigón o de mercancías pesadas.
- ◆ Cargas de agua en recintos estancos (depósitos).
- ◆ Rebajando temporalmente el nivel freático.
- ◆ Mediante gatos y anclajes en zonas localizadas.

La aceleración del proceso de consolidación mediante drenes artificiales es adecuada en aquellos casos en que los tiempos de consolidación son importantes. Los drenes que comúnmente se utilizan son bandas drenantes prefabricadas. En el pasado se utilizaron drenes cilíndricos de arena que hoy parecen menos eficaces, aunque pueden tener algún otro efecto secundario beneficioso como elemento de refuerzo.

La serie de reconocimientos previos a realizar a cada estrato del terreno antes de proyectar una precarga son:

- ◆ Densidad y humedad natural.
- ◆ Módulos de deformación.
- ◆ Coeficiente de consolidación.

Estos datos se pueden obtener directamente mediante ensayos edométricos realizados con muestras inalteradas. También es necesario investigar la resistencia al corte del terreno natural, no sólo para compararla con la resistencia correspondiente después del tratamiento, sino también para analizar los problemas de estabilidad que pueden provocar las precargas.

Cargas de tierra altas en zonas de suelos blandos pueden provocar la rotura del terreno a corto plazo. Los ensayos de molinete o los ensayos de penetración estática son especialmente interesantes para conocer la resistencia en estos casos.

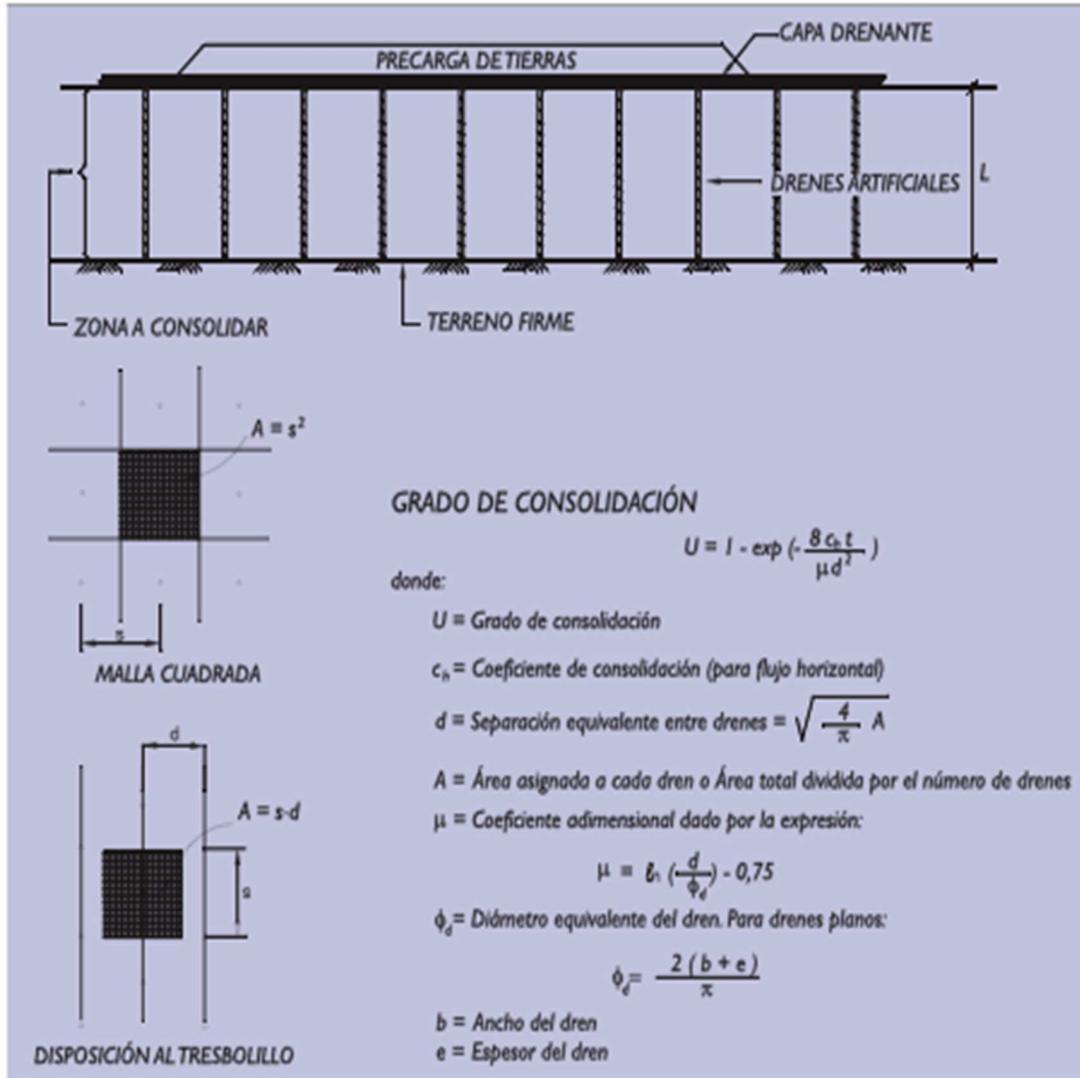
Es de especial importancia, en aquellos casos en los que se pretende acelerar la consolidación incluyendo drenes artificiales, considerar la anisotropía del suelo en cuanto a su coeficiente de consolidación, ya que éste suele ser, en muchos suelos naturales, varias veces mayor en la dirección horizontal que en la dirección vertical. Esa consideración puede hacerse mediante el ensayo de penetración estática con medida de presiones intersticiales (piezocono), realizando paradas esporádicas para analizar la consolidación del exceso de presiones intersticiales provocado por la hincada del cono.

La intensidad de la precarga debe ser tanto mayor cuanto mayor sea el efecto pretendido. El límite superior de la intensidad de la precarga está marcado, aparte de los motivos económicos, por la propia estabilidad del terreno. El decidir la intensidad de la precarga pasa normalmente por decidir la altura de terraplén de tierras formado.

El grado de consolidación alcanzado con una determinada precarga se puede estimar aplicando teorías de consolidación unidimensional, cuando no se dispone drenaje artificial suplementario. Para el caso particular de precargas verticales sobre estratos horizontales de suelos en los que se dispone un drenaje artificial, se puede calcular el

grado de consolidación alcanzado con la fórmula siguiente:

FIGURA 4.1 Estimación del grado de consolidación de precargas con drenaje acelerado



Fuente: ROM 0.5-05

El grado de consolidación conjunto (U), debido al drenaje radial horizontal (drenaje acelerado) y debido al flujo vertical (consolidación unidimensional, como si no se dispusiese de drenaje artificial suplementario), puede calcularse con la expresión:

$$1 - U = (1 - U_1) (1 - U_2)$$

donde U_1 y U_2 son los grados de consolidación que producirían cada uno de esos dos flujos separadamente.

Es usual y recomendable dejar las sobrecargas hasta que los grados de consolidación alcanzados sean del orden del 75% o mayores. En esas situaciones la retirada total o parcial de las precargas suele producir entumecimientos que son únicamente una pequeña fracción del asiento producido.

La observación del tratamiento con precargas es necesaria y debe dirigirse hacia tres aspectos fundamentales:

- ◆ Altura de tierras o intensidad de las cargas
- ◆ Asientos del terreno, que pueden controlarse mediante placas de asiento colocadas en la superficie del terreno natural. Conviene controlar también asientos a distintas profundidades
- ◆ Presiones intersticiales, mediante piezómetros introducidos en el terreno a distintas profundidades e intercalados entre los drenes artificiales.

Estas u otras herramientas permitirán conocer la evolución del proceso de consolidación y decidir el momento en que debe darse por concluida una determinada mejora.

Algunas conclusiones interesantes obtenidas del uso práctico de dicho sistema de consolidación son las siguientes:

- ◆ Cuanto más recientes son los terrenos ganados al mar, mayores son los asentamientos que se van a producir.
- ◆ El tiempo que se tarde en la formación de la duna de precarga, no incide en los asentamientos que se van a producir, solo repercutirá en el plazo de la obra.
- ◆ Los mayores asentamientos se producen durante el periodo de ejecución de la duna de precarga, pudiéndose en algunos casos, aquellos en los que los terrenos al mar no son recientes, desprejarse el tiempo de permanencia de la duna.

4.2.3.1.2 Compactación dinámica

Los sistemas dinámicos se basan en los efectos que sobre la rigidez y la resistencia del relleno producen su sometimiento a un elevado número de ciclos de tensión-cortante o su densificación por introducción en su seno de ciertos volúmenes de material de aportación.

La compactación dinámica consiste en dejar caer grandes pesos desde una determinada altura: cada impacto produce una onda de compresión que se transmite en el relleno a la velocidad del sonido generando compresiones y tracciones en el mismo; causando finalmente la rotura del suelo y su desplazamiento hacia los lados de la zona de impacto.

El tratamiento superficial de suelos de esta forma se ha llevado a cabo con mazas de entre 1 t y más de 100 t y con alturas de caída de hasta 40 m. El espaciamiento usual entre puntos de impacto suele estar comprendido entre los 2 y 3 m para las mazas pequeñas y más de 10 m para las mazas pesadas.

El tratamiento suele realizarse en varias pasadas, ejecutando, en cada una de ellas, puntos de caída alternados en la malla final del tratamiento proyectado. La profundidad de la zona densificada está relacionada con la energía del golpe. Esa profundidad está dada por la fórmula empírica:

$$D = \alpha \cdot \sqrt{(M \cdot H)}$$

donde:

M = masa de la maza (t).

H=altura de caída (m).

D=profundidad efectiva del tratamiento (m).

α = factor dependiente del tipo de terreno y de las características del tratamiento. El valor usual es próximo a $0,5 \sqrt{\left(\frac{m}{t}\right)}$. La presencia de un fondo rígido puede aumentar el valor de α .

Si existe, a una profundidad menor que D , un estrato rígido, se tomará como valor de D esa profundidad menor. Una vez que se eligen la masa de la maza y la altura de caída de manera que se pueda alcanzar una profundidad de tratamiento acorde con el problema que se quiere resolver, se debe decidir la intensidad del tratamiento, esto es el número de golpes de maza y su distribución espacial y temporal.

El número total de golpes N se suele aplicar en varias fases (usualmente dos o tres) utilizando puntos de caída dispuestos en planta según una malla rectangular o triangular con un punto de impacto cada 10 m^2 aproximadamente. En cada fase se golpea en el mismo punto varias veces seguidas (4 golpes es un número usual) y, al cambiar de fase, se cambia de puntos de golpes para intercalarlos entre los precedentes. Es conveniente establecer cierto plazo de espera entre dos fases consecutivas para facilitar la consolidación del terreno.

Esta técnica se ha utilizado con éxito tanto en terrenos granulares como cohesivos blandos (en estos últimos los resultados son menos seguros) y parece particularmente indicada en el tratamiento de rellenos artificiales de naturaleza heterogénea, que son difícilmente mejorables con otros procedimientos.

Como resultado de dicha compactación, la superficie del terreno queda irregular, y es necesario una regularización y compactación superficial. Una aplicación relevante es la posibilidad de aplicación bajo el agua. En los procesos de sustitución, hay además una retirada de material y su sustitución en determinados puntos por otro de superior calidad.

4.2.3.1.3 Vibración profunda

Dicho procedimiento de mejora del terreno consiste en hacer descender en la masa del relleno un vibrador cilíndrico que genera vibraciones horizontales. La penetración se ayuda por inyección de agua y aire. Alcanzada la profundidad deseada, se realiza la vibración profunda o vibrocompactación en tramos sucesivos de abajo arriba, y se amontona un material de aportación alrededor de la boca de la perforación de modo que pueda absorberlo sin limitaciones. Dicho material penetra libremente por el espacio anular que se forma entre la tubería y las paredes de la perforación. Las variables a considerar son la

velocidad de descenso y el tiempo y la frecuencia de vibración. Las ventajas fundamentales de este método son:

- No tiene limitaciones de profundidad.
- Realiza una compactación uniforme en profundidad.
- Además de la compactación por vibración se mejora el relleno por la aportación de un material de mejor calidad.

La finalidad última de este tratamiento, aplicado sobre suelos granulares flojos, es una mejora de la resistencia de los mismos, disminuyendo su deformabilidad como consecuencia de la densificación inducida por los vibradores.

La vibración transmitida al terreno provoca la inestabilidad de su estructura, induciendo una licuefacción parcial y provocando asentamientos en superficie. El radio de acción de la vibración depende de la potencia del equipo y del tipo de terreno. En la práctica usual, se suele hacer el tratamiento con una columna de vibrado por cada 3 a 5 m². Con esa densidad se pueden obtener mejoras medias de densidad muy apreciables. La experiencia demuestra también, que dicho tratamiento induce mejoras considerables hasta profundidades de unos 15 m.

El tipo de tratamiento específico para cada relleno (vibroflotación o vibrosustitución) vendrá determinado por el contenido de finos del mismo, no siendo este superior al 20 o 25 %, momento a partir del cual se recurre a tratamientos mediante inclusiones rígidas.

Para evaluar la eficacia del tratamiento, deben repetirse los ensayos de reconocimiento geotécnico realizados antes del tratamiento. Son especialmente indicados en estos casos los ensayos SPT, los ensayos de penetración dinámica continuos y los ensayos de penetración estática. La evaluación de la capacidad de carga y la estimación de módulos de deformación pueden requerir la realización de ensayos de carga "in situ", ya sea mediante placas de carga en calicatas más o menos profundas o mediante ensayos presiométricos en sondeos.

En términos generales, la calificación de la aplicabilidad de estos métodos a los distintos tipos de terreno se resume a continuación:

TABLA 4.5 MEDIDAS DE LAS PRECARGAS

Tipo de terreno	Vibroflotación	Vibrosustitución
Arenas limpias (%)	Excelente	No es aplicable
Arenas limosas	Regular	Excelente
Fangos	Mala	Buena o regular
Arcillas	No es aplicable	Buena
Rellenos vertidos	Depende del tipo de material	Buena
Vertidos de inertes	No es aplicable	No es aplicable

Fuente: ROM 0.5-05

Con la vibración profunda se pueden alcanzar densidades relativas altas ($D_r = 75\%$) y resistencias a la penetración dinámica (N del SPT) del orden de $N = 25$ o superior, o resistencias a la penetración estática (q_c del cono holandés) superiores a 10 MPa.

4.2.3.1.3.1 Vibroflotación

La vibroflotación implica una licuefacción del terreno. Para que el terreno se licue con la vibración es preciso que su contenido en finos se menor al 5% aprox. En este caso se pueden provocar densificaciones simplemente vibrando los torpedos que se introducen en el terreno.

4.2.2.1.3.2 Vibrosustitución

Se utiliza para formar columnas de piedra en rellenos cohesivos blandos (rango de finos del 5 al 20% aprox.), que son removidos por un chorro de agua y sustituidos por el material granular de aportación.

4.2.3.1.3.3 Vibrodesplazamiento

Se utiliza para formar columnas de piedra en rellenos cohesivos menos blandos (porcentaje de finos mayor al 20 o 25%), en los que el vibrador penetra y forma un agujero estable. En general se precisa una cohesión mínima de 20 kN/m² para asegurar la estabilidad de las paredes de las columnas de piedra en la parte superior.

Este tratamiento permite el drenaje del agua existente dentro del relleno.

4.2.3.1.3.4 Penetración vibratoria

Este método consiste en hincar en el relleno un perfil metálico (asociación de perfiles de tablestacas) suspendido de un vibrador. El perfil se hace descender vibrando hasta la profundidad deseada, donde se deja vibrando cierto tiempo y luego se extrae vibrando también.

4.2.3.1.4 Consolidación con explosivos

Se realiza haciendo explotar cargas dentro de los rellenos de manera que las ondas producidas actúen sobre su estructura o sobre la superficie aumentando la compacidad. Se aplica a rellenos de arenas finas limosas cohesivas.

La ejecución se realiza principalmente de tres formas diferentes:

- Fondeando las cargas (cuando el relleno está bajo el agua).
- Con perforaciones hechas en el relleno.
- Colocando las cargas a una cierta profundidad bajo la superficie del relleno.

Normalmente, las cargas explosivas se colocan mediante perforaciones y se alojan a profundidades próximas al centro de la zona a densificar o algo más bajas (normalmente a $0,75H$, donde H es la profundidad del relleno a densificar). Las cargas explosivas a usar en cada perforación suelen ser del orden de 1 a 10kg de dinamita, TNT o amonita. La separación entre perforaciones estará entre los 5 y los 15 m. En general el consumo de sustancias explosivas será de entre 10 y 30 gr del volumen de suelo tratado.

4.2.3.1.5. Inclusiones rígidas

Se trata de una técnica de mejora del terreno, aunque más que una técnica de mejora podría ser considerada como técnica de ejecución de elementos de cimentación. La consideración de técnica de mejora del terreno se debe al hecho de que el relleno con inclusiones se considera a efectos prácticos un medio homogéneo, con unas propiedades equivalentes mejoradas.

Las inclusiones más usuales se citan a continuación:

- Columnas de grava (ejecutadas con técnicas de vibrosustitución).
- Columnas de suelo-cemento o suelo-cal (ejecutadas con hélices que se hincan y remueven el suelo natural y lo mezclan con el material aglomerante) .
- Barras de acero alojadas en perforaciones e inyectadas con lechada de cemento (en general, se considera una aplicación costosa si se compara con las anteriores).

Dentro de este tipo de refuerzo cabría también considerar las estructuras de tierra-armada bien sea con flejes metálicos, con geomallas o con productos artificiales.

4.2.3.1.6 Inyecciones

Destacable para la reducción de la permeabilidad del terreno, y en segundo lugar para la disminución de la deformabilidad y aumento de la resistencia. Las inyecciones son especialmente útiles en el tratamiento de filtraciones hacia los sistemas de achique de diques secos con solera drenada, ya que pueden reducir notablemente los caudales de bombeo necesarios para mantener en seco el dique.

Las técnicas de inyección más usuales son estas:

- De *impregnación*: Técnica más adecuada para reducir la permeabilidad del terreno, aunque también quedan mejoradas su resistencia y permeabilidad. Consiste en forzar la entrada de lechadas de cemento y agua a través de los poros del suelo, con espaciamiento de 1 a 3 metros. Se usan sobre suelos granulares altamente impermeables; se pueden usar cementos especialmente finos para rellenar los suelos constituidos por arenas finas. En caso de suelos aún más finos, se usan otros productos con mayor poder de penetración (silicatos, resinas, etc).
- De *compactación (Compaction-Grouting)*: Técnica basada en la inclusión de un mortero de cemento y arena en el fondo de un taladro vertical, obligando al terreno a desplazarse.

- Con *tubos manguito (Fracturación o Claquage)*: Se basa en la inyección de lechada de cemento a través de un tubo con pequeños orificios rectangulares protegido por el exterior mediante unos manguitos flexibles.
- *Inyecciones de alta presión o Jet-grouting*: Técnica destinada al tratamiento de suelos en profundidad para formar zonas de suelo mejorado o para sustituir el suelo por otros productos. El tratamiento se lleva a cabo mediante una tubería con orificios pequeños (toberas) que permite formar chorros fluidos (jets) con velocidades muy altas y caudales de algunos litros por segundo. El jet de corte del terreno puede estar formado por una lechada de cemento envuelta en un chorro de aire o, por un chorro de agua envuelto en un chorro de aire (en este caso, la lechada se inyecta a través de toberas suplementarias). Recientemente se utilizan dardos especialmente potentes para realizar columnas de gran tamaño; la técnica correspondiente se conoce con el nombre "superjet". El tratamiento se realiza de abajo a arriba, introduciendo el útil de la inyección hasta la profundidad deseada mediante una perforación previa y después se extrae rompiendo el suelo y mezclándolo con la lechada. Con este procedimiento se pueden obtener columnas (girando el chorro de corte) o pantallas planas de lechada, mortero o de estos materiales mezclados con el suelo. Con esta técnica se consiguen columnas de suelo tratado de hasta 3 m de diámetro (las mayores, en suelos granulares) y con resistencias tan altas como las de los hormigones (las más elevadas también en suelos granulares). El procedimiento es aplicable a cualquier tipo de terreno, excepto en los excesivamente permeables (escollerados o gravas muy limpias), en los que es preciso un tratamiento de cierre previo al jet-grouting. En suelos con materia orgánica pueden existir dificultades para el fraguado del conjunto lechada-terreno.

4.2.3.1.7 Electroósmosis

Consistente en la introducción de barras de acero o de aluminio como ánodos dentro del terreno y la de tubos de *wellpoint* como cátodos, en disposición y con espaciamiento similar al descrito para los drenes de las precargas. Dicho procedimiento origina en el

terreno un flujo de agua hacia los cátodos cuando se establece, entre ánodos y cátodos, una corriente continua. El procedimiento puede completarse con aportes químicos (silicatos, por ejemplo) que son arrastrados por el agua y retenidos por el terreno en su desplazamiento. Esta técnica permite acelerar la consolidación de masas de suelo y su refuerzo con inyecciones químicas, aunque su aplicación práctica está limitada debido al alto consumo de energía.

4.2.3.1.8 Tratamientos térmicos

Técnica indicada para la obtención en los terrenos, de altas resistencias durante periodos de tiempo muy reducidos. Destinada especialmente a terrenos blandos y húmedos, los cuales pueden desecarse para ganar así resistencia mediante la combustión de gasóleo u otros combustibles en pozos o sondeos practicados previamente en el terreno. El coste energético de esta técnica es muy elevado. La generación de bajas temperaturas permite congelar el terreno dotándole de una gran resistencia temporal, que permite realizar ciertas labores de contención en excavaciones.

4.2.4 Filtros y capas anticontaminantes

Los filtros se utilizan para evitar la remoción de finos que causa la circulación de agua a través de los poros intergranulares del esqueleto sólido de un determinado relleno: los gradientes debidos a la carrera de marea o a las corrientes pueden ser elevados y producir un arrastre de finos con debilitamiento de la estructura y aparición de socavones en la superficie. Como consecuencia, el terreno (o el relleno) sufre una erosión interna, cambia su estructura y puede llegar a colapsar, ocasionando la ruina de la parte de obra correspondiente. Este problema se denomina también como “sifonamiento” pues, en muchas ocasiones, la erosión se localiza a lo largo de ciertas vías de filtración preferente (tubos) que pueden incluso actuar como sifones.

Rara vez los rellenos cumplen las condiciones de autofiltro que aseguren su estabilidad, ya que generalmente faltan los tamaños intermedios que son precisamente los que aseguran dicha condición de autofiltro (son suelos segregables con poca uniformidad). Los gruesos deberían ser capaces de filtrar a los finos. Si el material no cumple estas condiciones habrá de ser protegido con capas de filtro o al menos de transición, tal como es habitual en la protección de los núcleos de los diques.

Las correspondientes capas de filtro, usadas para prevenir los arrastres de finos y las consiguientes erosiones internas, pueden venir constituidas bien de productos artificiales (geotextiles), bien de suelos granulares.

La primera cualidad de los suelos granulares para poder ser utilizados como filtros es su uniformidad. Los suelos poco uniformes sometidos a un flujo de agua pueden segregarse de manera que las partículas finas sean arrastradas por el agua a través de los huecos de las partículas de mayor tamaño. Se consideran segregables aquellos suelos cuyo coeficiente de uniformidad, C_u , cumple:

$$C_u > 20$$

$$\text{siendo } C_u = D_{60}/D_{10}$$

donde

D_{60} = tamaño del tamiz que deja pasar el 60% en peso del suelo.

D_{10} = tamaño del tamiz que deja pasar el 10% en peso del suelo.

Los suelos granulares (exentos de cohesión) cuyo coeficiente de uniformidad sea menor que el indicado pueden usarse como filtros de otros suelos granulares siempre que se cumpla:

$$D_{15}/d_{85} < 5$$

donde:

D_{15} = tamaño del tamiz que deja pasar el 15% en peso del suelo, correspondiente al filtro.

d_{85} = tamaño del tamiz que deja pasar el 85% en peso del suelo, correspondiente al suelo que se protege.

Si el contenido en finos del suelo a proteger es superior al 10% (porcentaje de suelo que pasa por el tamiz 0,080 UNE) el tamaño del filtro correspondiente será:

$$0,3 \text{ mm} \leq D_{15} \leq 0,5 \text{ mm}$$

Si consideramos que son arenas todo aquello cuyo tamaño de grano está comprendido entre los 0,08 y 2mm, en este caso el filtro correspondiente estará constituido al 15% por arenas finas.

En algunos casos singulares puede estar justificado el uso de filtros más finos. En cualquier caso, no se recomienda utilizar filtros cuyo $D_{15} < 0,20$ mm ya que son difíciles de obtener sin que presenten cohesión.

La colocación de filtros en el interior de los rellenos resulta en ocasiones difícil y existen a menudo pocas garantías de su eficacia. Para rellenos finos estas capas pueden ser sustituidas con ventaja por geotextiles que cumplen bien las funciones de filtro, aunque su colocación a veces también puede resultar difícil. En cualquier caso, los geotextiles no deben ser empleados cuando existan piedras con tamaños superiores a los 20 cm, salvo que tengan un alma de geomalla para proteger frente al punzonamiento.

Las características a tener en cuenta a la hora elegir los geotextiles a usar como filtros protectores en las capas de relleno, según las consideraciones de solicitaciones y comportamiento a esperar por parte de los mismos, serán las siguientes:

- Resistencia a tracción [kN/m].
- Alargamiento [% sobre la longitud inicial].
- Resistencia a la perforación dinámica (caída de cono) [mm].
- Resistencia al punzonamiento estático (CBR a perforación) [kN].
- Medida de abertura (porometría 090) [μ m].
- Permeabilidad al agua [m/s].
- Gradiente de flujo de agua en el plano [m^2/s].
- Durabilidad (a recubrir en el día de la instalación): Normalmente de 25 años en suelos con pH entre 4 y 9, y temperaturas inferiores a los 25°.
- Gramaje o peso por unidad de superficie [gr/m^2].
- Espesor bajo 2 kPa [mm].

Por otro lado, entre el relleno y la coronación conviene disponer de capas anticontaminantes, a fin de que la ascensión de finos procedentes de aquél, no acaben con la desaparición de la coronación.

4.3 EXPLANADAS

4.3.1 Definición

Al consolidar un relleno, realizado a menudo con materiales procedentes de dragado, se produce una acumulación de finos en superficie que resultan muy difíciles de eliminar, impidiendo prácticamente el desplazamiento de la maquinaria. La coronación con materiales de calidad que van siendo progresivamente empujados sobre esa superficie constituye ante todo una plataforma de trabajo adecuada. Parte de los materiales de la coronación penetran en el relleno, lo que facilita la transmisión de cargas. Por otra parte, a menudo sólo la coronación permanece constantemente por encima del nivel del mar.

La explanada se define como la superficie de la coronación del relleno sobre la que se apoya directamente el firme. El espesor de esta coronación ha de ser como mínimo de 1 m (diferencia entre la cota de explanada y la del relleno antes de empezar la extensión de la coronación), debiendo extenderse en tongadas no superiores a los 40 cm; en cualquier caso, el espesor de dichas tongadas debe ser tanto menor cuanto peor sea la calidad del material utilizado.

La calidad de la explanada, en cuanto a su capacidad de soporte, depende en gran medida de los materiales empleados en la capa de coronación y del grado de compactación obtenido en su puesta en obra, aunque también, como se ha indicado, del grado de consolidación conseguido en el relleno.

4.3.2 Materiales en coronación de explanadas

Los materiales que se deben utilizar para coronaciones han de ser suelos de una cierta calidad (como en los rellenos compactados que se emplean por ejemplo en carreteras). Se pueden emplear también materiales de peor calidad, pero sometidos a procesos de estabilización o mejora.

A continuación, se describen someramente los materiales utilizados en las coronaciones de los rellenos.

4.3.2.1 *Suelos adecuados*

Se considerarán como tales aquellos que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados cumplan las condiciones siguientes:

- Contenido en materia orgánica inferior al uno por ciento ($MO < 1\%$), según UNE 103204.
- Contenido en sales solubles, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento ($SS < 0,2\%$), según NLT 114.
- Tamaño máximo no superior a cien milímetros ($D_{max} < 100 \text{ mm}$).
- Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ($\# 2 < 80\%$).
- Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al treinta y cinco por ciento ($\# 0,080 < 35\%$).
- Límite líquido inferior a cuarenta ($LL < 40$), según UNE 103103.
- Si el límite líquido es superior a treinta ($LL > 30$) el índice de plasticidad será superior a cuatro ($IP > 4$), según UNE 103103 y UNE 103104.

4.3.2.2 *Suelos seleccionados*

Se considerarán como tales aquellos que cumplen las siguientes condiciones:

- Contenido en materia orgánica inferior al cero con dos por ciento ($MO < 0,2\%$), según UNE 103204.
- Contenido en sales solubles en agua, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento ($SS < 0,2\%$), según NLT 114.
- Tamaño máximo no superior a cien milímetros ($D_{max} < 100 \text{ mm}$).
- Cernido por el tamiz 0,40 UNE menor o igual que el quince por ciento ($\# 0,40 < 15\%$) o que en caso contrario cumpla todas y cada una de las condiciones siguientes:
 - Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ($\# 2 < 80\%$).
 - Cernido por el tamiz 0,40 UNE, menor del setenta y cinco por ciento ($\# 0,40 < 75\%$).

- Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al veinticinco por ciento (# 0,080 < 25%).
 - Límite líquido menor de treinta (LL < 30), según UNE 103103.
- Índice de plasticidad menor de diez (IP < 10), según UNE 103103 y UNE 103104.

4.3.2.3 Suelos seleccionados con CBR > 20

Se trata de suelos que cumplen las especificaciones de los suelos seleccionados y que presentan unas condiciones de colocación que deben asegurar un valor del índice CBR mayor o igual de veinte (20).

4.3.2.4 Todo-uno

El material para rellenos todo-uno será aquel que tenga condiciones granulométricas intermedias entre las necesarias para ser considerado material para pedraplén (artículo 331 del PG-3) y material para terraplén (artículo 330 del PG-3). Es decir, aquellos que cumplen las condiciones siguientes:

- Materiales cuyo contenido en finos (material que pasa por el tamiz 0,080 UNE) es inferior al treinta y cinco por ciento (35%) y cuyo contenido de partículas que pasen por el tamiz 20 UNE es inferior o igual al setenta por ciento (70%) y superior o igual al treinta por ciento (30%), según UNE 103101.
- Materiales cuyo contenido en peso de partículas que pasan por el tamiz 20 UNE es inferior al treinta por ciento (30%), pero tienen un contenido en finos (material que pasa por el tamiz 0,080 UNE) superior o igual al diez por ciento (10 %) según UNE 103101.
- Además, también se consideran materiales para rellenos todo-uno aquellos que cumplen las condiciones granulométricas de pedraplén, pero en los que el tamaño máximo es inferior a cien milímetros (100 mm).

Las condiciones granulométricas anteriores corresponden al material compactado y los porcentajes se refieren al peso total de la muestra.

4.3.2.5 Pedraplenes

El material para pedraplenes deberá cumplir las siguientes condiciones granulométricas:

- El contenido, en peso, de partículas que pasen por el tamiz 20 UNE será inferior al treinta por cien (30%).
- El contenido, en peso, de partículas que pasen por el tamiz 0,080 UNE será inferior al diez por cien (10%).
- El tamaño máximo será como mínimo de cien milímetros (100 mm) y como máximo de novecientos milímetros (900 mm).

Las condiciones anteriores corresponden al material compactado. Las granulometrías obtenidas en cualquier otro momento de la ejecución sólo tendrán valor orientativo, debido a las segregaciones y alteraciones que puedan producirse en el material durante la construcción.

La curva granulométrica total una vez compactado el material se recomienda que se encuentre dentro del huso siguiente:

Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa
220	50 -100
55	25 - 50
14	12,5- 25

El contenido de peso de partículas con forma inadecuada será inferior al 30 por 100. A estos efectos se consideran partículas con forma inadecuada aquellas en que se verifique:

$$\frac{L + G}{2} \geq 3E$$

donde:

L (longitud) = Separación máxima entre dos planos paralelos tangentes a la partícula.

G (grosor) = Diámetro del agujero circular mínimo por el que puede atravesar la partícula.

E (espesor) = Separación mínima entre dos planos paralelos tangentes a la partícula.

Los valores de *L*, *G*, y *E*, no deben ser necesariamente medidos en tres direcciones perpendiculares entre sí.

Cuando el contenido en peso de partículas de forma inadecuada sea igual o superior al 30% sólo se podrá utilizar este material cuando se realice un estudio especial, aprobado por el Director de las Obras, que garantice un comportamiento aceptable.

En general, el material para pedraplén procederá de rocas adecuadas para pedraplenes las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas resistentes, sin alteración apreciable, compactas y estables frente a la acción de los agentes externos y, en particular, frente al agua.

Se consideran rocas estables frente al agua aquellas que, según NLT 255, sumergidas en agua durante veinticuatro horas (24 h), con tamaños representativos de los de puesta en obra, no manifiestan fisuración alguna, y la pérdida de peso que sufren es igual o inferior al 2 por 100 (2%).

También podrán utilizarse ensayos de ciclos de humedad-sequedad, según NLT 260, para calificar la estabilidad de estas rocas, si así lo autoriza el Director de las Obras.

4.3.2.6 Materiales para pedraplenes y todo uno de cantera para relleno de trasdós de cajones y bloques

- Pedraplén:

Granulometría: El 80% del pedraplén estará comprendido entre 15 y 500 kg y tendrá menos de un 5% de finos.

Densidad: La densidad aparente del pedraplén seco no será superior a 1,80 t/m³ y a 2,1 t/m³ saturada.

Ángulo de rozamiento interno: Igual o mayor de 40°.

- Todo-uno de cantera:

Consiste en una mezcla de materiales gruesos y finos con una clasificación como la indicada posteriormente, obtenidos de frentes de cantera. Presenta importantes ventajas derivadas de su esqueleto pétreo: constituyen una excelente plataforma de trabajo, transmiten bien las cargas al relleno y tienen características anticontaminantes.

Granulometría: Se cumplirán las especificaciones siguientes:

Tendrá como máximo un veinticinco por ciento (25%) en peso de material, cuyos cantos tengan un peso unitario inferior a un kilogramo (1 kg).

El tamaño D_{85n} (correspondiente al diámetro que deja pasar al 85% del material en peso) deberá cumplir con la siguiente relación: $D_{85n} > \frac{D_f}{4}$.

D_f : Diámetro correspondiente al valor nominal de la escollera de la capa de filtro que está en contacto directo con el material del núcleo.

El tamaño máximo de los cantos no superará al menor de los empleados en la capa filtro.

Además, para garantizar su permeabilidad tendrá un máximo del cinco por ciento (5%) en peso de material fino, entendiendo por material fino aquel que pase por el tamiz 0,080 UNE.

Su granulometría, cumpliendo los límites fijados, será lo más variada posible para conseguir la máxima compacidad.

Antes de su uso se comprobará su resistencia a la acción de los sulfatos, desgaste y absorción, que deberán cumplir los con los mismos límites que para la escollera clasificada que se indican en el artículo siguiente.

El ángulo de rozamiento interno de este material deberá ser igual o superior a los treinta y siete grados sexagesimales (37,0°), tanto seco como saturado.

Densidad: Serán de aplicación los valores indicados para los pedraplenes.

Angulo de rozamiento interno: Igual o mayor de 37°.

4.3.2.7 Escollera en cimientos y materiales para enrase de cimientos

La escollera que haya de usarse en la obra solamente será aceptada después de haber comprobado, a satisfacción de la Dirección de Obra, que es adecuada para su uso en dichos trabajos; para ello se realizarán los ensayos de la roca que se consideren necesarios durante el transcurso de los trabajos, que serán realizados por un laboratorio aprobado y por cuenta del Contratista. La piedra será aceptada en cantera con anterioridad a su transporte, y a pie de obra con anterioridad a su colocación. La aprobación de las muestras no limitará la facultad de la Dirección de Obra de rechazar cualquier escollera que a su juicio no cumpla los requisitos exigidos en este Pliego. Antes de comenzar la explotación de la cantera el Contratista presentará certificado, expedido por un laboratorio, referente a los ensayos de las características físicas, análisis químico y petrográfico, efectuados con la piedra propuesta para su uso, y del examen, "in situ", de la cantera propuesta.

El mencionado certificado incluirá los siguientes datos:

- 1) Examen de la cantera para cerciorarse de que las vetas, filones y planos débiles se encuentran suficientemente espaciados para permitir obtener escolleras de los tamaños necesarios.
- 2) Clasificación geológica.
- 3) Análisis químico, de acuerdo con las características petrológicas de la muestra.
- 4) Análisis petrográfico, de acuerdo con lo establecido en UNE 83110, determinándose en su caso el contenido en arcilla.
- 5) Resistencia al desgaste, determinada con arreglo al método indicado en UNE 83116 (ensayo de Los Ángeles).
- 6) Estabilidad frente a soluciones de sulfato sódico y magnésico, de acuerdo con lo establecido en UNE 7136.
- 7) Coeficiente de absorción de agua, de acuerdo con lo establecido en UNE 83134.
- 8) Peso específico, árido seco en el aire, de acuerdo con lo establecido en UNE 83134.
- 9) Resistencia a la compresión en probeta cilíndrica, de esbeltez superior a dos y saturada.

- 10) Determinación del índice de impacto, de acuerdo con lo establecido en UNE 83114.
- 11) Determinación del valor de carga correspondiente al diez por ciento (10%) de finos, de acuerdo con lo establecido en UNE 83113.
- 12) Contenido de carbonatos.
- 13) Contenido de sulfuros.
- 14) Inmersión: se mantendrá una muestra sumergida en agua dulce o salada a quince grados centígrados (15º) de temperatura durante treinta (30) días, comprobando su reblandecimiento o desintegración. Posteriormente a estas muestras se les aplicará el ensayo de desgaste de Los Ángeles.

El número mínimo de ensayos que deberá realizarse será el siguiente:

- Clasificación geológica: una determinación de cada frente expuesto durante los trabajos en cantera.
- Para el resto de los ensayos: un ensayo como mínimo y siempre que se explote un nuevo frente.

Estos ensayos serán realizados por un laboratorio aprobado por la Dirección de Obra y por cuenta del Contratista. Como límites admisibles de los resultados de los ensayos se dan los siguientes:

Ensayos

Coeficiente de desgaste de "Los Angeles" (%)	≤40
Pérdida en peso de la muestra por la acción del sulfato magnésico (%)	≤ 18
Pérdida en peso de la muestra por la acción del sulfato sódico (%)	≤ 12
Coeficiente de absorción de agua (%)	≤ 3
Peso específico del árido seco en el aire (t/m ³)	> 2,60
Resistencia a la compresión en probeta cilíndrica (kg/cm ²) (la fijará el director del proyecto de acuerdo con las características de la zona)	≥ 500
Índice de impacto	≤30
Carga correspondiente al 10% de finos (KN)	≥100
Contenido de sulfuros (%)	≤1

El ángulo de rozamiento interno de este material deberá ser igual o superior a los cuarenta y cinco grados sexagesimales (45º), tanto seco como saturado.

Los tamaños máximo y mínimo deberán fijarse en cada caso concreto, aunque en la parte superior de la banqueta, es habitual disponer escollera de 50 a 100 kg.

La escollera sobre la que han de quedar asentados las estructuras de hormigón, será objeto de una nivelación y enrase especial con piedra de menor tamaño que la escollera de cimientos o grava. La superficie a enrasar será la indicada en los planos.

El material de enrase cumplirá igualmente lo exigido, en cuanto a calidad, para la escollera de cimentación, estando formado por grava o balasto sano y resistente de tamaño adecuado a la escollera de cemento, aunque habitualmente se suele utilizar un tamaño comprendido entre tres y diez centímetros.

4.3.3 Técnicas de mejora o estabilización

Cuando no se disponga de materiales de una cierta calidad (suelos adecuados como mínimo), se pueden utilizar para la coronación del relleno otros de peores características, pero sometidos a procesos de mejora o estabilización, generalmente con cal y/o con cemento.

La mejora o estabilización de un suelo con cal o con cemento es la mezcla realizada in situ y convenientemente compactada del suelo, cal o cemento, agua y eventualmente adiciones, a la cual se le exigen unas determinadas condiciones de no susceptibilidad al agua, resistencia y durabilidad.

La mejora y la estabilización se diferencian únicamente por el grado de cambio logrado con respecto al material original. Normalmente, en los procesos de mejora la cantidad de conglomerante utilizada está en torno al 2-3 % sobre peso seco del suelo; en los procesos de estabilización, pueden llegar a ser necesarias proporciones muy superiores, aunque por razones económicas las más habituales están en torno al 3-5 %.

La cal es el producto más adecuado cuando el suelo tiene una elevada plasticidad y sobre todo una alta humedad natural, superior a la necesaria para la compactación, pues entre los efectos principales de la cal está el aumento de la humedad óptima de compactación. Por el contrario, con suelos de reducida plasticidad es mucho más efectiva la incorporación de cemento. En ocasiones, se utilizan ambos conglomerantes: en una primera fase se incorpora la cal, con lo que se produce una cierta reducción de la plasticidad y una granulación del suelo; transcurrido un cierto tiempo, se incorpora en una segunda fase el cemento.

Ventajas y desventajas de los diferentes métodos de aplicación de cal:

a) Cal hidratada en polvo:

Ventajas: Puede ser aplicada más rápidamente que la lechada. La cal hidratada en polvo puede ser utilizada para secar arcillas, pero no es tan eficaz como la cal viva. Desventajas: Las partículas hidratadas de cal son finas. De modo que el polvo puede ser un problema y este tipo de uso generalmente es inadecuado en áreas pobladas.

b) Cal viva en seco:

Ventajas: Económica porque la cal viva es una forma más concentrada de cal que la cal hidratada, conteniendo de 20 a 24% más de óxido de calcio "disponible". Así, aproximadamente 3% de cal viva es equivalente a 4% de cal hidratada, cuando las condiciones permiten la hidratación completa de la cal viva con suficiente humedad. Debido a su mayor densidad requiere de menos instalaciones de almacenaje. El tiempo de ejecución puede ampliarse debido a que la reacción exotérmica causada por el agua y la cal viva puede calentar el suelo. La cal viva seca es excelente para secar suelos mojados. Tamaños de partícula más grandes pueden reducir la generación de polvo.

Desventajas: La cal viva requiere 32% de su peso en agua para convertirse en cal hidratada y puede haber pérdida adicional por la evaporación significativa debido al calor de hidratación. Se debe tener cuidado con el empleo de la cal viva para asegurar una adecuada adición de agua, fraguado y mezcla. Estos mayores requerimientos de agua pueden plantear un problema de logística o costos en áreas remotas sin una fuente cercana de agua. La cal viva puede requerir más mezcla que la cal hidratada seca o que las lechadas de cal, porque las partículas de cal viva, que son más grandes, primero deben reaccionar con el agua para formar la cal hidratada y luego debe ser mezclada con el suelo.

c) Lechada de cal:

Ventajas: Aplicación libre de polvo. Es más fácil lograr la distribución. Se aprovecha la aplicación por rociado. Se requiere menos agua adicional para la mezcla final.

Desventajas: Velocidad lenta de aplicación. Costos más altos debido al equipo extra requerido. Puede no ser práctico en suelos muy mojados. No es práctico para secar.

La ejecución de un suelo estabilizado in situ incluye las siguientes operaciones:

- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Preparación de la superficie existente.
- Disgregación del suelo.
- Humectación o desecación del suelo.
- Distribución de la cal o del cemento.
- Ejecución de la mezcla.
- Compactación.
- Terminación de la superficie.
- Curado y protección superficial.

Según sus características finales se establecen tres tipos de suelos estabilizados in situ, denominados respectivamente S-EST1, S-EST2 y S-EST3. Los dos primeros se pueden conseguir con cal o con cemento, mientras que el tercer tipo se tiene que realizar necesariamente con cemento.

En lo relativo a los materiales a usar para la estabilización de suelos, indicar:

- Se usarán cales aéreas hidratadas del tipo CL-90 Q, conforme a la UNE 80502 (en lo que se refiere al transporte, recepción y puesta en obra de la cal aérea, se estará a lo dispuesto en la vigente "Instrucción para la recepción de cales en obras de estabilización de suelos (RCA-92)" o normativa que la sustituya).
- La clase resistente del cemento será la 22,5N o la 32,5N para los cementos especiales tipo ESP-VI-1 y la 32,5N para los cementos comunes. No se emplearán cementos de aluminato de calcio, ni mezclas de cemento con adiciones que no hayan sido realizadas en la fábrica. Si el contenido de sulfatos solubles (SO₃) en el suelo que se vaya a estabilizar, determinado según la UNE 103201, fuera superior al cinco por mil (0,5%) en masa, en el caso en que finalmente se decida usar un conglomerante para estabilización deberán hacerse ensayos acelerados en cámara húmeda y caliente.

Especificaciones sobre los materiales a estabilizar:

- Los materiales que se vayan a estabilizar in situ con cal o con cemento serán suelos que no contengan en ningún caso materia orgánica, sulfatos, sulfuros,

fosfatos, nitratos, cloruros u otros compuestos químicos en cantidades perjudiciales (en especial para el fraguado, en el caso de que se emplee cemento).

Granulometría

- Los suelos que se vayan a estabilizar in situ con cal cumplirán:

TABLA 4.6 GRANULOMETRÍA DE SUELOS A ESTABILIZAR CON CAL

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	CERNIDO ACUMULADO (% en masa)	
	ABERTURA DE LOS TAMICES (mm)	
	80	0,063
S-EST1 y S-EST2	100	≥15

Fuente: Elaboración propia

- Los suelos que se vayan a estabilizar in situ con cemento cumplirán, bien en su estado natural o bien tras un tratamiento previo con cal, lo indicado:

TABLA 4.7 GRANULOMETRÍA DE SUELOS A ESTABILIZAR CON CEMENTO

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	CERNIDO ACUMULADO (% en masa)		
	ABERTURA DE LOS TAMICES (mm)		
	80	2	0,063
S-EST1 y S-EST2	100	>20	<50
S-EST3	100	>20	<35

Fuente: Elaboración propia

Composición química

- Los suelos que se vayan a estabilizar in situ con cal o cemento cumplirán lo indicado:

TABLA 4.8 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE SUELOS A ESTABILIZAR IN SITU CON CAL O CEMENTO

CARACTERÍSTICA	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO
----------------	-------	----------------------------

		S-EST1	S-EST2	S-EST3
MATERIA ORGANICA (MO) (% en masa)	UNE 103204	>2	>1	<1
Sulfatos solubles (SO3) (% en masa)	UNE 103201	<1	<1	<1

Fuente: Elaboración propia

Plasticidad

- Los suelos que se vayan a estabilizar in situ con cal cumplirán:

TABLA 4.9 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS A ESTABILIZAR CON CAL

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	INDICE DE PLASTICIDAD (IP) (UNE 103104)
S-EST1	≥ 12
S-EST2	≥ 12 y ≤ 40

Fuente: Elaboración propia

Si el índice de plasticidad fuera superior a cuarenta, se podría ordenar que la mezcla del suelo con la cal se realice en dos etapas.

- Los suelos que se vayan a estabilizar in situ con cemento cumplirán:

TABLA 4.10 LÍMITE LÍQUIDO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS A TABILIZAR CON CEMENTO

CARACTERÍSTICA	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
		S-EST1	S-EST2	S-EST3
LIMITE LIQUIDO (LL)	UNE 103103	-	≤ 40	≤ 40
INDICE DE PLASTICIDAD (IP)	UNE 103104	≤ 15	≤ 15	≤ 15

Fuente: Elaboración propia

Cuando interese utilizar suelos con un índice de plasticidad superior al indicado, se puede realizar un tratamiento previo con cal, con una dotación mínima del uno por ciento

(1%) en masa del suelo seco, de manera que el índice de plasticidad satisfaga las exigencias de la tabla anterior.

El contenido de cal o de cemento, capacidad de soporte y densidad de los suelos estabilizados, deberán cumplir lo indicado a continuación:

TABLA 4.11 CONTENIDO DE CAL O CEMENTO DE LOS SUELOS ESTABILIZADOS

CARACTERISTICA	UNIDAD	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
			S-EST1	S-EST2	S-EST3
CONTENIDO DE CAL O CEMENTO	% en masa de suelo seco	-	≥2	≥3*	≥3*
INDICE CBR, a 7 días	-	UNE 103502	≥6	≥12	-
COMPRESION SIMPLE, a 7 días	MPa	NLT-305	-	-	≥1,5
DENSIDAD (Proctor modificado)	% de la densidad máxima	UNE 103501	≥95	≥97	≥8

Fuente: Elaboración propia

* En muchos casos una dotación del 3 % de cal no tiene ningún efecto mejor que el 2 %. Determinar la dotación mediante ensayos viendo los resultados con varios % de cal. El 2 % es una dotación de referencia razonable.

Cuando se estabiliza con cal, los porcentajes indicados de cal se refieren siempre a CAL VIVA.

El suelo estabilizado in situ con cemento deberá tener un plazo de trabajabilidad, de acuerdo con la norma UNE 41240, tal que permita completar la compactación de una franja antes de que haya finalizado dicho plazo en la franja adyacente estabilizada previamente, no pudiendo ser inferior a 120 minutos para una franja de trabajo o 180 min en el total del tramo ejecutado en varias franjas.

El Índice de Regularidad Internacional (IRI), según la NLT-330, de estabilizaciones in situ de capas para la formación de explanadas deberá cumplir lo fijado a continuación:

TABLA 4.12 ÍNDICE DE REGULARIZACIÓN INTERNACIONAL DE ESTABILIZACIONES IN SITU

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	IRI(dm/hm)
50	< 3,0*
80	< 4,0*
100	< 5,0*

Fuente: Elaboración propia

*Estos valores podrán ser modificados o de no aplicación en el caso que se realice una prefisuración

La rasante de la superficie terminada no deberá quedar por debajo de la teórica en más de 20 mm. Además de lo anterior, se exigirá la deflexión patrón máxima, medida entre los 14 y 28 días, desde su puesta en obra, de 1,25mm.

4.3.4 Categorías de explanada

Para definir la categoría de la explanada como cimiento de un firme portuario, se deben tener en cuenta diversos aspectos: la naturaleza del relleno, su grado de consolidación y los materiales empleados en la coronación.

En base a estos aspectos se distinguen tres categorías de rellenos a ser usados como cimientos de firmes definitivos, los cuales presentarán algún tipo de tratamiento de consolidación:

- Rellenos malos consolidados (VD-3): Rellenos malos: con más del 50 % de finos y RH-3: Rellenos malos: rellenos hidráulicos con más del 50 % de finos). Como condición de puesta en obra se establecen valores de CBR entre 1 y 2.
- Rellenos regulares consolidados (VD-2g): Rellenos regulares granulares: entre el 10 y el 35 % de finos, VD-2c: Rellenos regulares finos: entre el 35 y el 50 % de finos, RH-2g: Rellenos regulares granulares: rellenos hidráulicos entre el 10 y el 35 % de finos y RH-2c: Rellenos regulares granulares: rellenos hidráulicos entre el 10 y el 35 % de finos). Como condición de puesta en obra se establecen valores de CBR entre 3 y 4.

- Rellenos buenos consolidados (VD-1): Rellenos buenos: menos del 10 % de finos y RH-1: Rellenos buenos: rellenos hidráulicos con menos del 10 % de finos). Como condición de puesta en obra se establecen valores de CBR igual a 5.

Se considera que un relleno está consolidado cuando su asiento remanente estimado, que debe venir justificado en proyecto, de acuerdo con los procedimientos recogidos en la ROM 0.5-05, sea admisible para el uso al que se destine. Como criterio general, y a falta de otra información, puede adoptarse el criterio de que el asiento esperable, durante los 10 primeros años después de la ejecución de la coronación, sea inferior a 10 cm. Cuando el relleno no esté consolidado no será admisible su utilización para apoyo de un firme definitivo. Por tanto, antes de construir un firme definitivo hay que garantizar que el relleno cumpla los requisitos especificados para poder considerarlo como consolidado.

A continuación, se dan unos valores orientativos del módulo de elasticidad, los cuales están relacionados con la capacidad resistente de los diferentes tipos de materiales usados en rellenos portuarios, en función de su naturaleza y grado de consolidación. Dichos valores pueden ser tenidos en cuenta por el proyectista para realizar el diseño y caracterización de las diferentes capas de materiales que formarán los rellenos o cimiento de los diferentes firmes portuarios proyectados.

TABLA 4.13 VALORES ORIENTATIVOS DEL MÓDULO DE ESLASTICIDAD DE TIPOS DE RELLENO

Tipo de relleno y grado de consolidación	Módulo de elasticidad (MPa)
Suelo cohesivo blando sin precarga	2
Suelo cohesivo blando con precarga	10
Suelo arenoso flojo sin precarga	10
Suelo arenoso flojo con precarga	30
Escollera sin precarga	30
Todo uno sin precarga	30
Grava arenosa sin precarga	30
Arena limpia (< 10%) de finos sin precarga	20
Arena limosa sin precarga	10

Limos y arcillas de baja plasticidad	1
Arcillas de alta plasticidad	1
Suelo adecuado	50

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la coronación, la cual presentará un espesor mínimo de 1m, se pueden distinguir las siguientes situaciones:

- Coronación con suelos adecuados (o con otros de peores características mejorados con cal o con cemento de manera que la mezcla cumpla las exigencias de los suelos adecuados). Situación no recomendable, a usar sólo en el caso de ausencia o imposibilidad de utilización de otro tipo de materiales de mejor calidad. Las condiciones de colocación deben asegurar un valor del índice CBR mayor o igual de 3.

- Coronación con suelos seleccionados (o con suelos adecuados estabilizados con cemento o cal de manera que la mezcla cumpla las exigencias de los suelos seleccionados). Las condiciones de colocación deben asegurar un valor del índice CBR mayor o igual de 5.

- Coronación con suelos seleccionados con condiciones de colocación deben asegurar un valor del índice CBR mayor de 20 (o con suelos adecuados estabilizados con cemento o cal de manera que la mezcla cumpla las exigencias de los suelos seleccionados con CBR superior a 20).

- Coronación con todo uno o Pedraplén.

La combinación de los diferentes tipos de rellenos (incluyendo el valor del CBR del mismo) y las distintas situaciones de coronación permite dar una idea bastante clara al proyectista de los valores del “Módulo de compresibilidad en el segundo ciclo del ensayo de carga con placa (E2)” que se podrían llegar a alcanzar. Posteriormente se debe comprobar en superficie de explanada los valores de carga con placa realmente obtenidos, para establecer así las modificaciones oportunas, en proyecto, en función de dichos valores reales (en caso de ser menores a los de proyecto), o en su caso, realizar modificaciones en obra de tal forma que finalmente se alcancen en coronación los valores deseados de módulo de compresibilidad.

TABLA 4.14 MÓDULO DE COMPRESIBILIDAD EN LA CORONACIÓN

MÓDULO DE COMPRESIBILIDAD - E2	Relleno Consolidado (MC) VD-3, RH-3	Malo	Relleno Consolidado (RC) VD-2g, VD-2c, RH-2g, RH-2c	Regular	Relleno Bueno Consolidado (BC) VD-1, RH-1
CORONACIÓN					
Suelos adecuados	36	44	47	49	50
Suelos seleccionados	57	90	108	120	127
Suelos seleccionados con CBR>20 o Todo-uno o Pedraplén	73	111	135	149	159

Fuente: Elaboración propia

Como ya se comentó, los valores de módulos de compresibilidad que muestra la tabla anterior, son meramente orientativos, los valores definitivos de la explanada deben tomarse en función de los resultados de campo obtenidos mediante ensayo de carga con placa. Como también se dijo, si no se alcanzan los valores establecidos en proyecto, se deberá o bien realizar modificaciones del mismo para adaptarse a estos nuevos valores y seguir así calculando, o bien incrementar el espesor o tipo de la capa de coronación (o el grado de compactación), de tal forma que, en última instancia, los valores de diseño del módulo de compresibilidad reales y de proyecto coincidan.

En el caso en el que se desconozca el valor del índice CBR que podría alcanzar nuestro relleno, se debe trabajar con la tabla que adjuntamos a continuación. Dicha tabla recoge, en función del tipo de relleno en cimentación y de los materiales en coronación, el tipo de explanada en el que nos encontramos, clasificando a la misma en las siguientes categorías:

- E1 – Explanada aceptable
- E2 – Explanada buena
- E3 – Explanada muy buena

TABLA 4.15 DETERMINACIÓN DE CATEGORÍA DE EXPLANA

TIPO DE	RELLENO
---------	---------

EXPLANADA (*)			
CORONACIÓN	Relleno Malo Consolidado (MC)	Relleno Regular Consolidado (RC)	Relleno Bueno Consolidado (BC)
Suelos adecuados		E1 (50) (**)	E1 (50)
Suelos seleccionados	E1 (57)	E2 (108)	E2 (127)
Suelos seleccionados con CBR>20 o Todo-uno o Pedraplén	E1 (73)	E2 (135)	E3 (159)

Fuente: Elaboración propia

(*) se indica también el valor del módulo de compresibilidad E2 (en MPa) a considerar en cálculos para cada tipo de explanada, en función del tipo de relleno y del material en coronación.

(**) aunque en este caso el módulo de compresibilidad E2 era inferior a los 50 MPa, tomamos el valor de 50 MPa, ya que la diferencia es mínima y no afecta a los cálculos.

Se hará uso de la tabla anterior para obtener de forma aproximada los valores de módulo de compresibilidad que presumiblemente se alcanzarían, si únicamente fuera conocido el tipo de relleno y el material en coronación, es decir, si no se dispusiese de datos sobre CBR del propio relleno.

El rango de valores entre los que varía el módulo de compresibilidad E2 para cada categoría de explanada será el siguiente:

- E1: $E_2 \geq 50$ MPa
- E2: $E_2 \geq 100$ (MPa)
- E3: $E_2 \geq 150$ MPa

Indicar nuevamente que estas aproximaciones teóricas al módulo de compresibilidad final de las explanadas, pueden seguirse en fase de proyecto para aproximar el tipo y espesor de las capas de firme que se construirán sobre la explanada. Una vez en fase de ejecución, se deberán realizar ensayos de carga con placa para conocer realmente los valores del módulo de compresibilidad en el segundo ciclo del ensayo. Con dichos valores reales se realizará un reajuste de espesores de materiales a disponer en capas de firme, de tal forma que se aseguren capacidades portantes de los firmes portuarios, a la vez que se optimiza la cantidad de materiales a emplear.

Los valores máximos de la relación E_2/E_1 , siendo E_1 el módulo de compresibilidad obtenido en el primer ciclo de carga será de 2,00 (mientras E_2 sirve para evaluar la capacidad de soporte en la profundidad afectada por el bulbo de presiones bajo la placa, la relación E_2/E_1 da una idea del grado de compactación alcanzado en la coronación). Esta relación no se cumple en los casos de estabilizaciones con cemento excepto en algunos casos. El segundo módulo que se alcanza, sin embargo, es suficientemente alto como para que la relación de módulos no sea preocupante.

Debe tenderse en cualquier caso a la obtención de la mayor categoría posible de explanada, recurriendo a la consolidación del relleno o en su caso, a tratamientos de mejora y estabilización de las capas de coronación; todo ello es tanto más importante cuanto mayor sea la categoría del tráfico.

El siguiente paso del análisis, una vez se tienen valores del módulo de compresibilidad de la explanada, será calcular el espesor de las capas de base que constituirán los firmes portuarios.

Como se indicaba anteriormente, se exige un valor mínimo de 50 MPa al módulo de compresibilidad de la explanada en el segundo ciclo del ensayo de carga con placa (E_2), el cual corresponde a una explanada del tipo E1.

El criterio adoptado en capítulos posteriores para el dimensionamiento de las capas de base y pavimento que constituyen los firmes portuarios, es el de diseñar dichas capas suponiendo que vienen apoyadas directamente sobre la propia superficie de una explanada tipo E3 (con módulos de compresibilidad mayores o iguales a los 150 MPa). Por ello, el uso de capas granulares de subbase que constituyen las capas inferiores del firme, no hará más que incrementar la capacidad resistente de la explanada (en el supuesto de que la misma no sea ya explanada E3) de tal forma que nos encontremos en todo momento en un tipo de explanada con módulo de compresibilidad E_2 mínimo de 150 MPa.

Por tanto para la obtención de explanadas de mayor calidad tipo E3, sobre las que ejecutar las diferentes capas de base y pavimento, se puede proceder de dos formas:

- La primera de ellas es hacer uso de técnicas de mejora de terrenos más intensas y sofisticadas, a la vez que se usan materiales en coronación de explanada de mayor calidad.
- Otra forma de alcanzar explanadas del tipo E3, si nos encontramos en explanadas con módulos de compresibilidad E2 menores a 150 MPa, será mediante el recrecido con capas de zahorra artificial, las cuales formarán parte en última instancia de las capas de subbase del firme portuario.

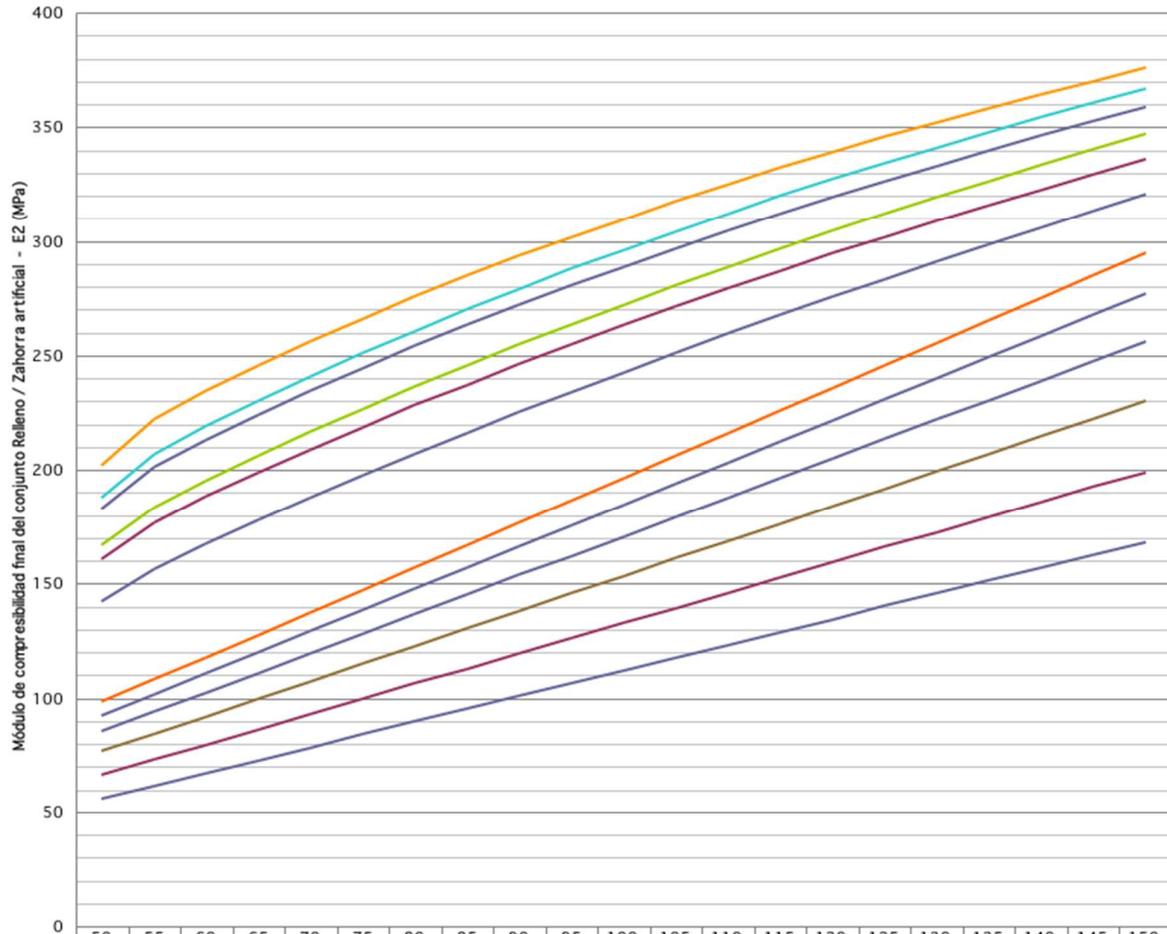
En este segundo punto es en el que vamos a detenernos a continuación, es decir, vamos a proceder a explicar brevemente de qué manera podemos pasar de explanadas E1 o E2 (con módulos de compresibilidad en el segundo ciclo del ensayo de carga con placa, mayores a 50 MPa y menores a 150 MPa) a explanadas E3, sobre las que vendrán directamente alojadas las capas superiores de pavimento.

A continuación, se representa un gráfico en la que se relacionan los posibles módulos iniciales de compresibilidad de la explanada en el segundo ciclo del ensayo de carga con placa (E2), con los módulos resultantes tras la aplicación de una capa de diferentes espesores de zahorra artificial. Debemos indicar que los valores del módulo de compresibilidad inicial de la explanada en la gráfica mostrada a continuación (eje de abscisas), varían entre los 50 y 150 MPa, rango en el que se encuentran los 3 tipos de explanadas E1, E2 y E3. Por otro lado, indicar también que los espesores de zahorra artificial varían en intervalos de 5cm, entre 5 y 60cm. No obstante, siempre deberían considerarse espesores no inferiores a 10-15 cm.

El objetivo perseguido con el sistema propuesto es el de dar recomendaciones al proyectista de la manera en la que alcanzar una explanada del tipo E3, con un módulo de compresibilidad de 150 MPa, partiendo de valores inferiores, sin más que recrecer con capas de zahorra artificial, cuyo espesor puede ser obtenido en la Figura 4.1:

FIGURA 4.2 MEJORA DEL MÓDULO DE COMPRESIBILIDAD DE LA EXPLANADA UTILIZANDO ZAHORRA ARTIFICIAL

ZAHORRA ARTIFICIAL



Módulo de compresión inicial del relleno (MPa)

	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
5cm	56,02	61,63	67,23	72,83	78,43	84,04	89,64	95,24	100,8	106,4	112,0	117,6	123,2	128,8	134,4	140,0	145,6	151,2	156,8	162,4	168,0
10cm	66,35	72,98	79,62	86,25	92,89	99,53	106,1	112,8	119,4	126,0	132,7	139,3	145,9	152,6	159,2	165,8	172,5	179,1	185,7	192,4	199,0
15cm	76,65	84,31	91,97	99,64	107,3	114,9	122,6	130,3	137,9	145,6	153,2	160,9	168,6	176,2	183,9	191,6	199,2	206,9	214,6	222,2	229,9
20cm	85,32	93,85	102,3	110,9	119,4	127,9	136,5	145,0	153,5	162,1	170,6	179,1	187,7	196,2	204,7	213,3	221,8	230,3	238,8	247,4	255,9
25cm	92,41	101,6	110,8	120,1	129,3	138,6	147,8	157,0	166,3	175,5	184,8	194,0	203,2	212,5	221,7	231,0	240,2	249,4	258,7	267,9	277,2
30cm	98,20	108,0	117,8	127,6	137,4	147,3	157,1	166,9	176,7	186,5	196,4	206,2	216,0	225,8	235,6	245,4	255,3	265,1	274,9	284,7	294,5
35cm	142,2	156,4	167,3	177,5	187,5	197,2	206,7	216,0	225,0	233,9	242,5	251,1	259,4	267,5	275,5	283,3	291,0	298,6	305,9	313,2	320,4
40cm	160,7	176,8	188,2	198,6	208,7	218,5	228,0	237,1	246,0	254,6	263,0	271,2	279,1	286,9	294,4	301,8	308,9	315,9	322,7	329,4	335,9
45cm	166,6	183,3	195,0	205,8	216,3	226,3	236,1	245,5	254,7	263,6	272,2	280,6	288,7	296,7	304,4	311,9	319,3	326,4	333,4	340,2	346,8
50cm	182,8	201,1	213,2	224,0	234,4	244,3	253,9	263,2	272,0	280,6	288,9	296,8	304,6	312,1	319,3	326,3	333,2	339,7	346,2	352,5	358,5
55cm	187,8	206,6	218,9	230,0	240,6	250,8	260,5	270,0	279,0	287,7	296,1	304,2	312,1	319,7	327,1	334,2	341,0	347,8	354,3	360,6	366,7
60cm	202,0	222,2	234,7	245,7	256,1	266,1	275,6	284,7	293,4	301,7	309,7	317,5	324,9	332,1	338,9	345,6	352,1	358,3	364,3	370,1	375,7

Fuente: Elaboración Propia

Una conclusión clara que se desprende de la gráfica es el hecho de que, si se conoce

únicamente el tipo de explanada en el que nos encontramos (E1, E2 o E3), se puede llegar a la explanada de diseño con un módulo de compresibilidad superior a los 150 MPa, sin más que recrecer con capas de zahorra artificial de los siguientes espesores:

E1: 40cm

E2: 15cm

E3: 0cm

Una vez dimensionada la capa de subbase sobre la que se asentará la base y pavimento del firme, debemos proceder a aproximar el espesor de la capa de base. Con dicha capa de base se pretende que el pavimento se apoye sobre una capa que asegure en su superficie de unos módulos de compresibilidad E2 mínimos de 300 MPa.

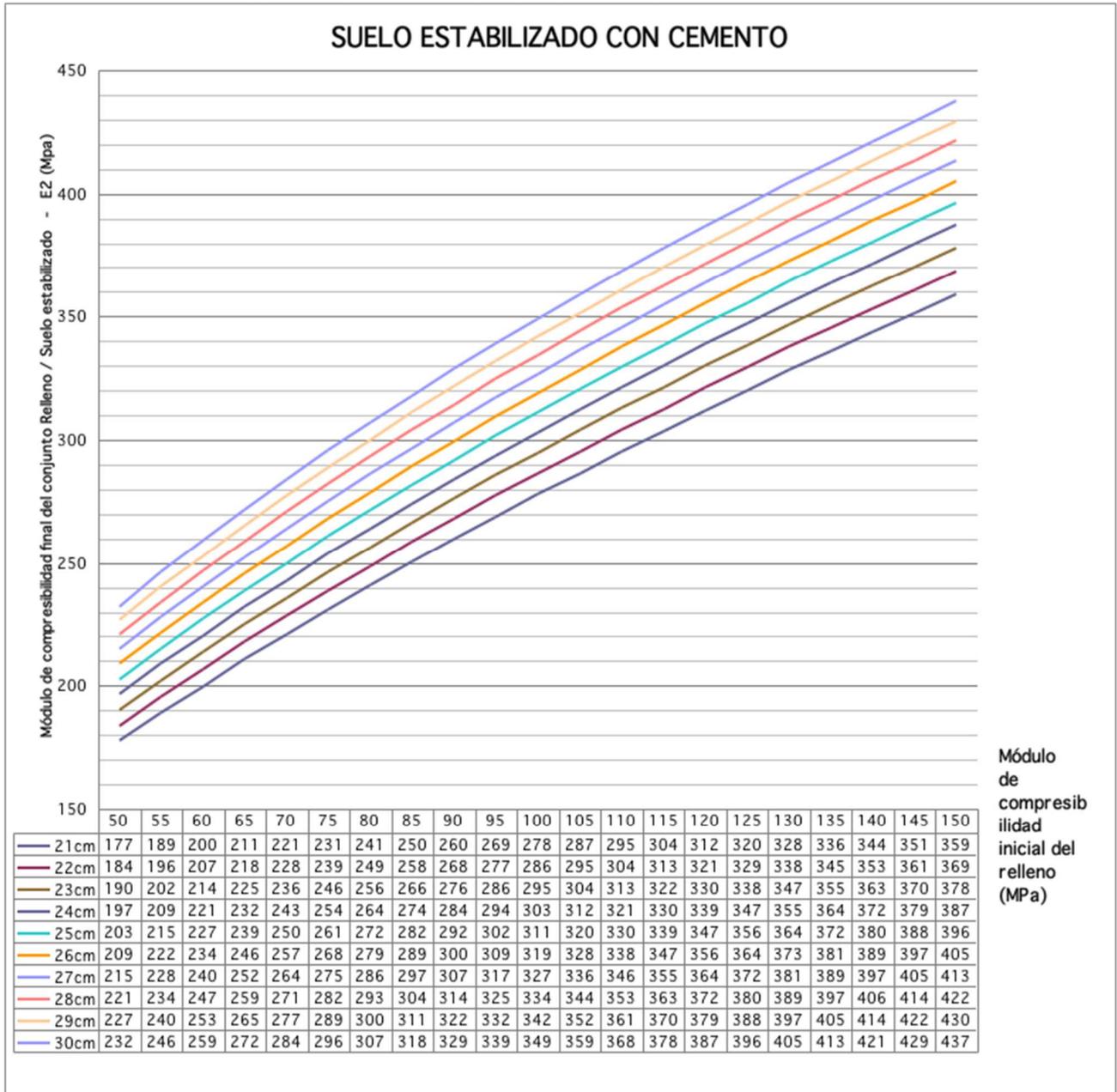
Dicha capa de base se ejecutará también mediante zehorras artificiales, y por tanto se sumará al espesor obtenido para capas de subbase, de tal forma que base y subbase constituya una única capa de zahorra artificial, la cual cumplirá las especificaciones técnicas dadas en el capítulo 8, tanto sobre espesores de tongadas en compactación, como de métodos y formas de puesta en obra.

De la gráfica anterior se deduce que una explanada con módulo de compresibilidad de 150 MPa, necesita de 35cm de zahorra artificial para elevar el valor de dicho módulo a los 300 MPa.

Por otro lado, se da también la opción de obtener explanadas con la suficiente capacidad portante como para alojar directamente las diferentes capas de pavimento (módulo de compresibilidad de 300 MPa), haciendo uso en capas inferiores, en lugar de zehorras artificiales, de suelos estabilizados del tipo 3 (S-EST3). En la Figura 4.2 se muestra la forma en la que, al igual que hacíamos anteriormente para zehorras artificiales, se puede mejorar la capacidad portante de la explanada, mediante las ya mencionadas capas de suelo estabilizado. En este caso, se pasará directamente de explanadas del tipo E1, E2 o E3, mediante capas de suelo estabilizado, a explanadas con módulo de compresibilidad de 300 MPa.

FIGURA 4.3 MEJORA DEL MÓDULO DE COMPRESIBILIDAD DE LA EXPLANADA

UTILIZANDO SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la gráfica anterior, explanadas con módulos de compresibilidad menores a los 80 MPa, no ofrecen la posibilidad, mediante recrecido con suelos estabilizados, de emplearse como capas de base para pavimentos, pues según se observa, con un máximo de 30 cm de espesor, no es posible alcanzar los 300

MPa requeridos. Espesores mayores a los 30cm de suelo estabilizado no son habituales, pues dificultan la puesta en obra y podrían aumentar los costes de ejecución, aunque se ha llegado a estabilizar con garantías de calidad hasta espesores de 40 cm.

Si lo que se pretende es recrear con suelo estabilizado para así llegar a módulos de compresibilidad de 300 MPa, deberíamos en primera instancia asegurar una capacidad portante inicial de la explanada de 80 MPa, lo cual se podría conseguir, como ya se dijo anteriormente, con zahorras artificiales, sin más que entrando en la gráfica correspondiente, anteriormente mostrada, o estabilizando la capa inferior.

El uso de suelos estabilizados se restringe al caso de terminales de contenedores semiautomatizadas, o situaciones de proyecto en las que las irregularidades superficiales del firme, podrían causar serias deficiencias en la explotación de dicha terminal. Esto se basa en el hecho de que los suelos estabilizados para explanadas, aunque pueden presentar valores medios de módulo de compresibilidad iguales a las zahorras, sus variaciones conforme a la media en diferentes puntos de la superficie, son mucho menores a las que se encontrarían en el caso de las zahorras artificiales.

A efectos del control de ejecución de las explanadas se deberá exigir una deflexión patrón máxima de acuerdo con lo indicado en la tabla siguiente:

CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	E2	E3
DEFLEXIÓN PATRÓN (10^{-2} mm)	< 250	< 200	< 125

TABLA 4.16 CONTROL DE EXPLANAS CON DEFLEXIONES

Fuente: Elaboración propia

Con carácter particular, para la capa superior utilizada en la formación de las explanadas, por razones de durabilidad y uniformidad de la capacidad estructural en toda la traza, cuando sea estrictamente necesario, se recomienda la consideración preferente de los suelos estabilizados in situ, con cal o con cemento, frente a una aportación directa de suelos sin tratar tipo zahorra artificial.

La cota de la explanada deberá quedar al menos a 60 cm por encima del nivel más alto previsible del nivel freático donde el macizo de apoyo esté formado por suelos seleccionados o estabilizados; a 80 cm donde esté formado por suelos adecuados; a 100 cm donde sean tolerables, y a 120 cm donde sean marginales o inadecuados. A tal fin se adoptarán medidas tales como la elevación de la cota de la explanada, la colocación de drenes subterráneos, la interposición de geotextiles o de una capa drenante, etc., asegurando además la evacuación del agua que se pueda infiltrar a través del firme de la calzada y de los arcenes.

ÍNDICE

5.1 Capas inferiores

5.1.1 Subbases granulares

5.1.2 Bases granulares

5.1.3 Suelo-cemento

5.1.4 Grava-cemento

5.1.5 Grava-escoria

5.1.6 Hormigón magro vibrado

5.2 Pavimentos

5.2.1 Hormigón vibrado

5.2.2 Hormigón compactado con rodillo

5.2.3 Pavimentos continuos de hormigón armado

5.2.4 Hormigón armado con fibras

5.2.5 Adoquines prefabricados de hormigón

5.2.6 Pavimentos asfálticos

5.2.7 Mezclas de alto módulo

5.3 Comentario final

MATERIALES PARA FIRMES Y PAVIMENTOS

Se presentan los materiales más usuales que pueden ser empleados en las distintas capas de los firmes y pavimentos portuarios, con una somera descripción de sus características fundamentales y señalando las ventajas e inconvenientes que pueden presentar en cada caso.

5.1 UNIDADES DE OBRA PARA CAPAS INFERIORES

Se realizan a continuación unos breves comentarios sobre las características de los materiales que pueden ser empleados en las capas inferiores de los firmes, tanto en capas de subbase (las que se apoyan directamente sobre la explanada cuando ésta no tiene la calidad suficiente) como en capas de base (las que se colocan bajo el pavimento). Se ha tratado de recoger todas las opciones posibles, aunque sólo una parte de ellas se recoge expresamente en el catálogo de secciones estructurales.

5.1.1 Subbases granulares

La subbase es la capa situada entre la base del firme y la explanada. No existe siempre, sino únicamente en los casos en los que la superficie de la explanada no alcanza el mínimo de capacidad de soporte requerido para ser usada directamente como apoyo de las capas superiores. El módulo de compresibilidad mínimo en el segundo ciclo del ensayo de carga con placa (E_2) debe ser en esa superficie de apoyo de 300 MPa. Para ello se recomienda el uso de capas de granulares de zahorra artificial, con espesores que varían entre los 15 y los 40 cm aproximadamente, dependiendo de la calidad de la explanada.

Si existe la posibilidad, hay que considerar el empleo de materiales obtenidos como subproductos industriales o como desechos en diversos procesos. Deben citarse especialmente las escorias siderúrgicas y los residuos de construcción y demolición (convenientemente clasificados).

5.1.2 Bases granulares

La base es la capa sobre la que se apoya el pavimento y que está situada encima de la explanada o de la subbase si la hubiera. Se consideran dos tipos de bases, según los materiales empleados en ellas: las granulares y las tratadas con conglomerantes hidráulicos o puzolánicos.

Las capas de base granulares están formadas por áridos totalmente triturados cuya granulometría es de tipo continuo (comprendida deseablemente dentro del huso ZA 25 que se describe en el capítulo 7).

Con la capa de base se pretende alcanzar un módulo de compresibilidad mínimo de 300 MPa en la superficie de apoyo del pavimento. Para ello se recomiendan espesores mínimos de zahorra artificial de 35 cm, que deben ser extendidos y compactados en 2 tongadas.

Al igual que en el caso de las subbases puede considerarse también el empleo de escorias y de otros materiales de desecho.

5.1.3 Suelo-cemento

El suelo-cemento es una mezcla homogénea, en las proporciones adecuadas, de material granular, cemento, agua y, eventualmente, aditivos, realizada en central, que convenientemente compactada se puede utilizar como capa estructural, tanto en capas de base como de subbase, en los firmes portuarios.

En ocasiones se podría llegar a considerar la posibilidad de realizar el suelo-cemento in situ, para lo cual se debe exigir de entrada que el suelo sea homogéneo en todas sus características, realizándose la disgregación, premezclado o incluso sustitución del mismo en caso necesario. Para la ejecución del suelo-cemento in situ se deben emplear equipos específicos que efectúen todas las operaciones en continuo, sin necesidad de intervención manual: disgregación, dosificación, distribución del cemento, mezclado y extensión. La dosificación del cemento se debe llevar a cabo preferentemente en forma de lechada. El mezclado se ha de realizar de forma que se pueda garantizar la homogeneidad exigida, por lo que la velocidad de avance de los equipos se debe mantener por debajo de los 10

m/min. Dado que la limitada anchura de los equipos obliga a trabajar por bandas, se han de cuidar muy especialmente los solapes para que no quede suelo sin tratar, evitándose asimismo las sobredosificaciones y controlando que no queden con diferente humedad que el resto. El proceso, incluyendo la compactación, debe completarse dentro del plazo de trabajabilidad del material.

El contenido mínimo de cemento del suelo-cemento debe ser tal que permita la consecución de las resistencias exigidas. En cualquier caso, dicho contenido no ha de ser inferior al 3% en masa, respecto del total del material granular en seco, y en general estará en torno al 5– 6%.

El material granular que se vaya a utilizar en el suelo-cemento tiene que ser un suelo granular o una zahorra. También se pueden utilizar subproductos o productos inertes de desecho.

5.1.4 Grava-cemento

Una grava-cemento es una mezcla homogénea, en las proporciones adecuadas, material granular (áridos con granulometría continua, en definitiva, zahorra artificial), cemento, agua y, eventualmente, aditivos, realizada en central, que convenientemente compactada se puede utilizar como capa estructural en firmes portuarios.

La dotación de cemento debe ser como mínimo del 3,5% bajo capas bituminosas, valor que se eleva hasta el 5% bajo pavimentos de hormigón en masa.

En la grava-cemento se ha de utilizar un árido natural procedente en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de gravera. También se pueden utilizar productos inertes de desecho o subproductos.

Al contrario que con el suelo-cemento, en ningún caso, ni siquiera con las limitaciones señaladas, cabe considerar la eventualidad de fabricar in situ la grava-cemento.

5.1.5 Grava-escoria

Su concepción es similar a la de una grava-cemento. La principal diferencia estriba en que el conglomerante es escoria granulada de horno alto, con dosificaciones, según su reactividad, entre el 15 y el 20% sobre la masa de los áridos. Al tratarse de un conglomerante puzolánico, se requiere además la incorporación de un activante del fraguado (normalmente cal, en una proporción del 1% sobre la masa de la mezcla total seca).

La grava-escoria presenta diversas ventajas sobre la grava-cemento, debido principalmente a su muy superior período de trabajabilidad, con la posibilidad de extensión en espesores variables, y a una mayor relación entre la resistencia a flexotracción y el módulo de rigidez. Sin embargo, sólo constituye una alternativa real si el punto de aplicación no está a más de unos 100 km del punto de producción de las escorias.

5.1.6 Hormigón magro vibrado

Un hormigón magro vibrado es una mezcla homogénea de áridos, cemento, agua y aditivos, empleada en capas de base, que se pone en obra con una consistencia tal que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación. La resistencia media a compresión simple a veintiocho días debe estar comprendida entre 15 y 22 MPa. Para ello la dosificación de cemento no debe ser inferior a 140 kg/m³ de hormigón fresco, y la relación ponderal de agua/cemento (A/C) no ha de ser superior a 1,15.

Los hormigones magros vibrados deben ponerse en obra de la misma forma y con los mismos equipos que se utilicen para la puesta en obra de los pavimentos de hormigón.

5.2 UNIDADES DE OBRA PARA PAVIMENTOS

Se realizan a continuación unos breves comentarios sobre las características que presentan las distintas unidades de obra que pudieran ser empleadas como pavimentos. Son de muy distinta aplicación y mientras algunas de ellas pueden considerarse que tienen gran importancia en la pavimentación portuaria, por ejemplo, el hormigón vibrado, otras sólo son de eventual aplicación en alguna situación especial. Sin embargo, se ha tratado de

recoger todas las opciones posibles, aunque sólo una parte de ellas se recoge expresamente en el catálogo de secciones estructurales.

5.2.1 Hormigón vibrado

Un pavimento de hormigón vibrado es el constituido por un conjunto de losas de hormigón en masa separadas por juntas, tanto transversales como longitudinales; el hormigón se pone en obra con una consistencia tal que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación y maquinaria específica para su extensión y su acabado superficial. Los espesores de las losas son variables, dependiendo de los parámetros considerados en el diseño, pudiendo ir desde los 15 hasta los 40 cm, aproximadamente.

Están normalizados en España tres tipos de hormigones vibrados en masa para su uso en pavimentos, dependiendo de la resistencia característica a flexotracción a los veintiocho días:

- HF-4,5 4,5 MPa
- HF-4,0 4,0 MPa
- HF-3,5 3,5 MPa

Sin embargo, es importante aclarar que no se trata sólo de garantizar una suficiente resistencia a flexión de las losas, sino que una mayor resistencia característica del hormigón es la única garantía frente a deterioros por punzonamiento (en zonas de almacenamiento de contenedores, por ejemplo) y por desagregación de la superficie (debida por ejemplo al paso de vehículos sobre orugas). En cualquier caso, la dosificación de cemento no debe ser inferior a 300 kg/m^3 de hormigón fresco, y la relación ponderal agua/cemento (A/C) no ha de ser superior a 0,46.

Un pavimento de hormigón tiene que tener una textura superficial que facilite el movimiento de máquinas y vehículos sin que exista el riesgo de deslizamiento. Esa textura se consigue habitualmente con un estriado o ranurado longitudinal en la dirección principal de marcha de los vehículos.

El hormigonado se suele realizar por franjas o bandas longitudinales. Por ello se proyectan juntas de hormigonado, que pueden ser de distinto tipo, entre bandas

contiguas, procurando que la distancia entre juntas sea la misma en todos los casos, nunca mayor de 5 m y tratando también de que en la medida de lo posible no coincidan con las probables zonas de rodada.

Por otro lado, las juntas transversales que se proyectan en los pavimentos de hormigón pueden ser de contracción, de hormigonado o de dilatación. Las de contracción se deben realizar preferentemente por aserrado, una vez que el hormigón ha endurecido algo (lo que supone dejar transcurrir del orden de unas seis horas desde la colocación del hormigón); se disponen perpendiculares al eje de las franjas longitudinales de hormigonado, y han de ir separadas entre sí una distancia comprendida entre 4 y 5 m.

Las juntas transversales de hormigonado deben coincidir con el emplazamiento en el que iría una junta de contracción, y se deben disponer cuando se hubiera producido por cualquier causa una interrupción en el hormigonado que haga previsible un comienzo del fraguado.

Finalmente, se han de proyectar juntas transversales de dilatación ante estructuras, o donde pudiera estar especialmente impedido el movimiento de las losas del pavimento. En estos casos se debe estudiar y decidir en la fase de proyecto el diseño específico de las juntas.

Mientras que en carreteras y en vías en las que hay un tráfico pesado canalizado se requiere que las losas de hormigón se apoyen sobre una base con características de no erosionabilidad para evitar el fenómeno de bombeo de finos en las juntas, en las superficies portuarias el apoyo puede estar constituido por una capa granular. Por supuesto, ello requiere una buena nivelación y regularidad del apoyo, por lo que si no se puede garantizar será preciso recurrir a una capa de regularización que además cumpliría misiones de filtro.

La puesta en obra del hormigón de los pavimentos portuarios debe llevarse a cabo empleando preferentemente pavimentadoras de encofrados deslizantes: son máquinas dotadas de encofrados móviles de dimensiones, forma y resistencia suficientes para sostener el hormigón lateralmente durante el tiempo necesario para obtener la sección transversal prevista, sin asiento del borde de la losa. En las situaciones menos comprometidas los pavimentos de hormigón pueden ejecutarse con medios más manuales, apoyándose en todo caso en el empleo de reglas vibrantes; en estos casos

hay que asumir que las características finales del hormigón serán peores, sobre todo en lo que se refiere a su regularidad superficial.

Debe destacarse finalmente que las ventajas más importantes de estos pavimentos son las siguientes:

- Resisten altas presiones de contacto
- Su superficie es excelente para la rodadura de los vehículos portuarios
- Tienen suficiente resistencia al deslizamiento, si se le da al hormigón el acabado adecuado
- No suelen presentar deformaciones permanentes, por lo que son adecuados para tráfico pesados
- La superficie no se debilita por los derrames de aceites, combustibles u otros productos similares ni por elevadas temperaturas

5.2.2 Hormigón compactado con rodillo

El hormigón compactado con rodillo es un material fabricado en central, constituido por áridos similares a los empleados en la grava-cemento, pero con un contenido de cemento del orden del 10- 14% sobre la masa seca de los áridos. A largo plazo, la resistencia a compresión suele ser superior a 35 MPa (a 7 días debería presentar valores superiores a 18 MPa) y el módulo de elasticidad es del orden de 33.000 MPa. Por sus características mecánicas puede soportar, directamente o con un tratamiento superficial, el paso de vehículos pesados. Sin embargo, para tráfico circulando a velocidad elevada es preciso disponer una capa de rodadura bituminosa para mejorar la regularidad superficial, actuando entonces como capa de base.

Con una compactación adecuada este material desarrolla en definitiva unas resistencias similares a las de un hormigón vibrado para pavimentos: la relación agua/cemento (A/C) es más reducida en aquél (varía normalmente entre 0,37 y 0,42), pero los contenidos de cemento (300-330 kg/m³) son similares en ambos casos.

La granulometría de los áridos combinados ha de ser continua, debiendo tenderse, en general, a la utilización de granulometrías con pocos finos. Las características exigidas a

estos áridos son similares a las que se piden en el caso de las zahorras artificiales. En refuerzos, y siempre que se requiera abrir al tráfico inmediatamente, debe garantizarse que el CBR de la mezcla recién compactada no sea inferior a 65.

La reducida humedad del hormigón compactado obliga a su curado sea especialmente eficiente. Si sobre el hormigón compactado se va a disponer una capa de rodadura, el método más aconsejable es realizar el curado con una emulsión del tipo ECR-1. En caso de preverse el paso de tráfico sobre el hormigón compactado, debe aumentarse la dotación de betún residual y proteger el riego mediante la extensión de un *arrocillo*. Por el contrario, si el hormigón compactado se va a dejar sin recubrir, el sistema más eficaz es la extensión de un producto filmógeno de curado como los que se emplean con los pavimentos de hormigón vibrado.

La característica de este tipo de pavimentos quizás más importante es que su construcción no requiere una maquinaria especial, además de que pueden ser abiertos inmediatamente al tráfico, sin necesidad de esperar los plazos usuales en los pavimentos de hormigón vibrado, lo cual es posible gracias sobre todo a un esqueleto mineral suficientemente resistente por sí mismo (árido triturado total o parcialmente). Estructuralmente, en cambio, requieren un apoyo de elevada capacidad de soporte, para que se pueda desarrollar de manera efectiva la compactación del hormigón.

5.2.3 Pavimentos continuos de hormigón armado

Se hace referencia en este apartado a losas de hormigón en las que las armaduras tienen por objeto mantener cosidas las fisuras de retracción: se forman muchas fisuras de abertura inferior a 0,5 mm, distanciadas generalmente entre 1 y 3 m, que son prácticamente imperceptibles y que no se deterioran bajo el tráfico. Un caso diferente es el de las soleras de hormigón armado a flexión, como las que, por ejemplo, se emplean en algunas ocasiones para el depósito de contenedores pretendiendo garantizar una ausencia absoluta de deterioros.

La supresión de las juntas transversales de contracción es posible gracias a aumentar la cuantía geométrica de la armadura longitudinal de acero de alto límite elástico hasta valores del 0,7% con hormigones del tipo HF-4,5 y del 0,6% para los del tipo HF-4,0. Las

barras tienen un diámetro nominal mínimo de 20 mm en pavimentos con 22 cm o más de espesor, y de 16 mm si los espesores son inferiores.

En los puertos los pavimentos continuos de hormigón armado pueden tener interés para los tráfico más pesados, en la medida en que el armado permite disminuir notablemente las necesidades de conservación. Adicionalmente hay una cierta reducción de espesores de las losas (4 o 5 cm), que sin embargo no compensa económicamente el coste de las armaduras.

5.2.4 Hormigón armado con fibras

En la masa del hormigón se incorporan fibras en las proporciones adecuadas para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los hormigones tradicionales. La fibra más eficaz para estos pavimentos es la que se fabrica a partir de acero trefilado, con los extremos conformados para asegurar un mejor anclaje al hormigón. Las fibras deben estar encoladas en peines, a fin de evitar el apelmamiento que se podría producir en el amasado. La trabajabilidad del hormigón con fibras decrece con su relación longitud/diámetro, por lo que al estar encoladas en peines el diámetro equivalente es mayor y, en consecuencia, aumenta la trabajabilidad. La resistencia a la tracción de las fibras debe ser aproximadamente de 1200 MPa. Su dotación no debe ser inferior a 30-40 kg/m³.

El empleo de fibras sintéticas estructurales de poliolefinas como alternativa al armado metálico estructural está contemplado en la EHE 08. Las fibras sintéticas estructurales incrementan la durabilidad de las estructuras al no sufrir oxidación y mejorar la compacidad de los hormigones al evitar posibles patologías durante el proceso de hormigonado, consecuencia de la eliminación o reducción de la densidad de armado en las mismas.

También es posible el empleo de fibras sintéticas estructurales que facilitan la homogénea dispersión de las mismas en el hormigón, armando las estructuras en toda su sección incrementando la resistencia del mismo a la abrasión. Las fibras sintéticas estructurales para poder ser consideradas una alternativa al armado de acero estructural deberán reunir las siguientes características: Material: Poliolefina, Resistencia a Tracción ≥ 400 MPa, Módulo de Elasticidad ≥ 6 GPa, $L \geq 48$ mm.

Las fibras evitan la formación y propagación de fisuras preferentes, al distribuir homogéneamente la microfisuración producida, tanto durante el proceso de fraguado como consecuencia de las cargas en servicio. Por ello se incrementa la resistencia a la fisuración, impacto y ataques químicos y confieren al hormigón resistencias residuales a flexotracción y cortante.

Las ventajas más importantes de este tipo de pavimentos reforzados con fibras con respecto a los de hormigón en masa son las siguientes:

- Mayor resistencia a la rotura, especialmente a flexión, y mayor resistencia a la fatiga dinámica, por lo que se pueden disminuir los espesores de las losas
- Mayor resistencia al impacto.
- Mayor resistencia frente a fenómenos de desagregación de la superficie.
- Mejor absorción y distribución de los esfuerzos debidos a la retracción, por lo que es posible aumentar el espaciamiento de las juntas en un 50%.
- Aumento de la durabilidad como consecuencia de la menor fisuración.

5.2.5 Adoquines prefabricados de hormigón

Los adoquines de hormigón son bloques prefabricados de dimensiones tales que permiten su colocación manual. Tienen formas muy variadas, a menudo simplemente rectangulares. Se adaptan con facilidad a los asientos que se puedan producir. La transmisión de cargas verticales entre adoquines contiguos es esencial para garantizar su buen funcionamiento, y se produce por el rozamiento a través de la arena que rellena las juntas. Para garantizar la respuesta a las acciones horizontales, el adoquinado debe estar confinado lateralmente mediante elementos rígidos, que se denominan bordes de confinamiento. También influye la arena situada en las juntas y la disposición en planta.

En cuanto a la sección estructural, los adoquines se apoyan normalmente sobre capas granulares con pocos finos (a veces sobre capas tratadas con cemento: suelo-cemento, hormigón magro u hormigón de baja resistencia), con la interposición de una capa de arena limpia de nivelación con un espesor de 3 cm una vez compactada. En todo caso, hay que poner los medios para que no se produzcan blandones (ni en general una deformación excesiva de la superficie), garantizando la drenabilidad de las capas subyacentes y disponiendo materiales insensibles a la acción del agua.

Algunas de las características generales de este pavimento son las mismas que corresponden a las superficies de hormigón, salvo en lo que se refiere a la deformabilidad de las superficies adoquinadas. Además, se pueden citar las siguientes características:

- Drenabilidad de la superficie.
- Fácil acceso a los servicios existentes por debajo.
- Capacidad para resistir cargas estáticas y dinámicas, impactos y cargas puntuales muy elevadas, sin sufrir deformaciones importantes ni daños estructurales.
- Posibilidad de adaptarse a los eventuales asentos de los rellenos.

Una desventaja de las superficies adoquinadas, por la existencia de juntas muy próximas, es su elevada megatextura, que las hace muy ruidosas cuando se circula a velocidades elevadas. En las superficies portuarias éste es un inconveniente menor, por cuanto las velocidades habituales de circulación son relativamente reducidas. Además, el nivel sonoro disminuye mucho empleando adoquinados de alta calidad, que permiten excelentes acabados, y colocándolos con el aparejo adecuado.

Un eventual problema de las superficies adoquinadas es que corrientes subterráneas de agua pueden socavar el apoyo y provocar hundimientos más o menos localizados. Una posible solución podría consistir en sustituir la capa de base granular o tratada con cemento por una losa de hormigón de baja resistencia y un espesor mínimo constructivo, del orden de 15 cm, pero esto conlleva un encarecimiento obvio y sobre todo la desaparición de la gran ventaja que supone la adaptación a los eventuales movimientos del apoyo. Si son previsibles los señalados problemas de hundimientos por socavación una buena alternativa es recurrir a bases granulares con pocos finos.

Por razones de la posible acumulación de suciedad en las juntas de las superficies adoquinadas, estos pavimentos no son aconsejables en zonas de almacenamiento de graneles sólidos.

5.2.6 Pavimentos asfálticos

A los efectos de las situaciones contempladas en estas Recomendaciones hay que distinguir entre ellos los siguientes tipos fundamentales:

- Tratamientos superficiales, mediante riegos con gravilla o bien mediante lechadas bituminosas. Mientras los primeros son utilizados sobre capas granulares en firmes provisionales, las lechadas se pueden emplear también en firmes definitivos para obtener determinadas características superficiales.
- Mezclas bituminosas en caliente, del tipo hormigón bituminoso (*asphalt concrete*, AC). Por sus características resistentes requieren que en las secciones de firme para tráfico pesado no bajen de un espesor conjunto de 15 cm, pudiendo llegar hasta los 30 o 35 cm.

Los pavimentos asfálticos para firmes definitivos, hay que tener en cuenta que presentan en algunas zonas ciertas limitaciones de empleo, debido a algunas de sus características:

- Pueden presentar problemas de deformaciones plásticas por la baja velocidad de circulación y las elevadas cargas.
- Tienen poca aptitud para resistir fuertes presiones de contacto, lo que hace que sean poco aconsejables, por ejemplo, en zonas de almacenamiento de contenedores y de semirremolques.
- El derrame de aceites, combustibles y otros productos similares disuelven el ligante bituminoso, produciéndose entonces la rápida disgregación de la superficie.
- Poca resistencia a los impactos.

Por el contrario, los pavimentos asfálticos presentan ventajas derivadas de su versatilidad, la facilidad de puesta en obra, su adaptabilidad a los movimientos del apoyo en el caso de los tratamientos superficiales o de las mezclas en pequeño espesor, su facilidad de rehabilitación superficial y refuerzo, etc. En cualquier caso, deben considerarse una opción básica en las vías de acceso, donde no suelen producirse las situaciones indicadas en el párrafo anterior.

En determinadas situaciones puede resultar interesante considerar el posible empleo de mezclas bituminosas de alto módulo. Su elevada rigidez (módulo de elasticidad a 20 °C no inferior a 11.000 MPa), pero con una suficiente resistencia a la fatiga, permite diseñar secciones con mezclas bituminosas con un cierto ahorro en el espesor total de éstas, del

orden del 20%, además de conseguirse características adicionales como puede ser una mayor resistencia al punzonamiento.

5.2.7 Mezclas de alto módulo

5.3 COMENTARIO FINAL

La selección de unos materiales u otros para constituir un firme se debe basar en primer lugar en un análisis de sus características técnicas, valorando ventajas e inconvenientes. A este respecto debe tenerse en cuenta que las distintas superficies portuarias tienen requerimientos distintos y, por tanto, puede que la solución más adecuada difiera sensiblemente de unas zonas a otras. Además, es importante tener en cuenta que en la decisión final deben intervenir también la durabilidad real de la sección y su coste global, es decir, que junto a un análisis de los costes de construcción hay que realizar una estimación lo más precisa posible de los futuros costes de conservación.

ÍNDICE

6.1 Introducción

6.2 Factores de dimensionamiento de los firmes portuarios

6.2.1 Uso de la superficie portuaria

6.2.2 Equipos de manipulación

6.2.3 Características del relleno

6.2.4 Características de los materiales disponibles

6.2.5 Vida útil

6.3 Bases del catálogo

6.3.1 Introducción

6.3.2 Modelos y parámetros de cálculo

6.3.3 Criterios de dimensionamiento

6.4 Descripción del procedimiento de dimensionamiento mediante el empleo del catálogo

6.4.1 Selección del uso de la superficie portuaria

6.4.2 Selección de la zona dentro del uso considerado

6.4.3 Distinción entre cargas de almacenamiento y cargas de manipulación

6.4.4 Determinación de la carga de cálculo

6.4.5 Determinación de la intensidad de uso

6.4.6 Determinación de la categoría de tráfico

6.4.7 Capas inferiores del firme

6.4.8 Elección del firme

DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES PORTUARIOS

Se detalla el procedimiento que debe seguir un proyectista para establecer, con la ayuda del catálogo incluido en esta Recomendación, la sección estructural más adecuada en cada caso, mientras en el Anejo A se describen los métodos de dimensionamiento que constituyen los fundamentos de dicho catálogo.

6.1 INTRODUCCIÓN

En ocasiones el proyecto de los firmes y pavimentos portuarios se lleva a cabo seleccionando de forma totalmente independiente los equipos de manipulación y los propios firmes, de manera que aun siendo el objetivo general que estos puedan resistir sin deterioros graves las acciones provocadas por los equipos seleccionados, puede ocurrir que dichos deterioros aparezcan tras haberse consumido una parte muy pequeña de la vida útil. En cambio, es recomendable considerar conjuntamente la selección de los equipos y del firme, lo cual debe hacerse, sin embargo, de forma que un cambio en dichos equipos, dentro de determinados márgenes razonables, no obligue necesariamente a un cambio de firme. Por tanto, el firme y los equipos deben considerarse como partes interrelacionadas de un mismo sistema de explotación.

La selección del sistema completo incluye los siguientes aspectos que deberán ser tenidos en cuenta por el proyectista:

- Equipos de manipulación que se quieren utilizar.
- Características generales de estos equipos.
- Cargas transmitidas por cada equipo en las condiciones de trabajo.
- Uso de cada uno de ellos durante la vida de proyecto.
- Posibles tipos de secciones estructurales.
- Adaptación del firme a las condiciones de trabajo.
- Características superficiales exigibles.
- Inversiones previstas.

Con este enfoque, lo que se obtiene son sistemas combinados de equipos de manipulación y firmes que han de analizarse en función de su coste económico global y de las disponibilidades existentes. Debe destacarse que esto precisa por parte del proyectista de unos conocimientos suficientes de ingeniería y de las características de la explotación portuaria. En suma, esta práctica requiere que se traten conjuntamente la elección del tipo de firme y los parámetros de explotación portuaria: equipos de manipulación, almacenamiento de las distintas mercancías, etc.

Los firmes se dimensionan para resistir un cierto nivel de carga de cálculo que se aplica con una cierta intensidad de uso, con el objeto de tratar de alcanzar un determinado nivel de durabilidad o posibilidad de fallo, por lo que es fundamental valorar esos parámetros.

6.2 FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO DE LOS FIRMES PORTUARIOS

6.2.1 Uso de la superficie portuaria

El proyectista debe conocer los usos de la superficie para la que se va a proyectar el firme, ya que según sean se utilizarán unos equipos de manipulación u otros y una forma de explotación específica. Si se desconociese dicho uso, se considerará la situación más desfavorable posible.

6.2.2 Equipos de manipulación

La consideración de los equipos de manipulación que se van a utilizar en la explotación portuaria requiere el conocimiento de sus características:

- Peso total de cada equipo.
- Carga máxima que puede manipular.
- Numero de ruedas y carga por rueda.
- Presión de inflado.
- Carga transmitida al pavimento.
- Sistema de giro.
- Velocidad media de circulación.
- Forma de realizar la operación.

6.2.3 Características del relleno

El tipo de relleno que se ha utilizado, así como las características del fondo sobre los que se apoya y de la coronación de dicho relleno, son fundamentales para elegir el firme y. En estas Recomendaciones, tomando como punto de partida que uno de los principales condicionantes en el comportamiento estructural de un firme es la capacidad de soporte de los materiales subyacentes, se prescribe llegar a que el pavimento se apoye sobre una capa que asegure en su superficie unos módulos de compresibilidad E_{v2} mínimos de 300 MPa. En el capítulo correspondiente se define cual es el procedimiento para poder alcanzar este objetivo partiendo de una determinada explanada previa de menor capacidad portante.

De esta manera se garantiza un buen comportamiento y durabilidad del firme independientemente de la tipología y características del mismo. Asimismo, se facilita la comparación de las distintas opciones posibles.

6.2.4 Características de los materiales disponibles

La posibilidad de elegir unos u otros materiales, atendiendo tanto a su disponibilidad como a su coste, conduce en última instancia a la solución estructural de proyecto.

6.2.5 Vida útil

El concepto de vida útil se emplea aquí según la definición dada en la ROM 0.0. Equivale al concepto de período de proyecto tal como se emplea en la Instrucción de secciones de firme de la Dirección General de Carreteras.

La vida útil del firme portuario va unida a la propia concepción del desarrollo de un puerto. Determina el número de operaciones que el firme ha de soportar sin que deba ser dejado fuera de servicio. La vida útil de un firme portuario definitivo se establece entre 15 y 30 años, al tratarse de una infraestructura que requiere un nivel de seguridad 1 (pequeño riesgo de pérdida de vidas humanas o deterioros ambientales en caso de rotura). (Véase ROM 0.2). No obstante, actualmente, cabe también pensar en estrategias de inversión con vidas útiles más dilatadas del orden de 50 años, de manera que se garantice una operación

sin interferencias por razones de reparaciones o renovaciones significativas durante ese periodo.

Considerando lo anterior, en este documento se han adoptado como tres escenarios de diseño diferentes asociados a la probabilidad de fallo en la aparición de deterioros estructurales. El diseñador, en función de la estrategia de inversión, conservación y necesidades de funcionalidad que considere adoptar, elegirá uno de los tres escenarios de fallo propuestos, que posibilitaran distintas vidas útiles.

6.3 BASES DEL CATÁLOGO

6.3.1 Introducción

El objetivo fundamental del dimensionamiento de firmes portuarios es asegurar sus condiciones de servicio durante la vida útil, al aplicar un régimen determinado de cargas con una intensidad de uso también determinada.

Las peculiaridades del dimensionamiento de firmes portuarios estriban en primer lugar en la calidad de los rellenos y de los fondos marinos y además en las siguientes características del tráfico portuario:

- Las cargas por rueda que transmiten los equipos de manipulación y transporte de mercancías son muy elevadas.
- La gama de tipos y tamaños de equipos y por tanto de cargas transmitidas, separación de ruedas y presiones son muy variadas.
- Los esfuerzos dinámicos adicionales debidos a impactos, giros, frenadas, irregularidades superficiales, etc., pueden ser importantes, afectando tanto el dimensionamiento de la sección estructural como las características superficiales.
- Las zonas de circulación no están, en muchas ocasiones, delimitadas o canalizadas.
- Existe dificultad para conocer previamente la tipología del tráfico y su evolución.
- Las cargas transmitidas por el almacenamiento y apilamiento de mercancías son muy elevadas, al igual que las que transmiten algunos de los equipos con las que se manipulan.
- Las cargas que se consideran en el dimensionamiento de firmes portuarios dependen del uso de las zonas de que se trate, puesto que estas zonas determinan el tipo

de vehículos de manipulación y transporte de mercancías, así como la posibilidad de estacionamiento o almacenamiento de las mismas y por tanto las cargas que puedan presentarse y el número total de aplicaciones.

- La experiencia en pavimentos indica que un aspecto primordial en el buen comportamiento estructural y en la durabilidad es la calidad de la explanada y capas siguientes.

En consecuencia, el dimensionamiento de los firmes portuarios exige para cada proyecto la previsión de los equipos de manipulación y transporte de mercancías que afectarán a la obra proyectada (características, principales y cargas transmitidas por cada uno de ellos en cada condición de trabajo). Asimismo, se hará una previsión sobre la forma de almacenamiento y apilamiento de las distintas mercancías. Por último, son necesarios estudios específicos para determinar la intensidad de uso durante la fase de proyecto analizada.

6.3.2 Modelos y parámetros de cálculo

En todos los casos, se ha utilizado un programa de ordenador basado en las hipótesis de Burmister (véase el Anejo A) para determinar, bajo las acciones de cálculo, las tensiones, deformaciones y desplazamientos que se producen en los puntos críticos de la sección estructural. En el caso de los pavimentos formados por losas de hormigón previamente se han hecho cálculos basados en elementos finitos con el fin de poder calibrar el modelo mencionado para este caso particular de pavimentos discontinuos (véase el Anejo A).

En todas estas comprobaciones, las acciones de cálculo consideradas son las definidas en la Parte 3, modeladas según las correspondientes hipótesis, mientras que las características de los materiales son las recogidas en el Anejo A en consonancia con las prescripciones dadas en la Parte 7.

Es necesario destacar el criterio de diseño fundamental adoptado en estas Recomendaciones, la consecución de una buena capacidad portante de las capas inferiores del pavimento. En la Parte 4 se especifica el procedimiento y materiales para que, partiendo de unos rellenos bien ejecutados de acuerdo con la ROM 0.5, se llegue

siempre a una superficie de apoyo del pavimento que tenga una capacidad portante mínima de 300 MPa.

6.3.3 Criterios de dimensionamiento

El criterio de referencia es que la tensión de tracción por flexión no supere la resistencia característica a tracción del material constituyente del firme, habiéndose comprobado también en algún caso (depósito de contenedores) comprobaciones de resistencia al punzonamiento. Los resultados obtenidos en el cálculo analítico se han contrastado con la buena práctica y experiencia existente.

Para alguno de los escenarios contemplados existe la posibilidad de que se produzca alguna fisuración del pavimento. Sin embargo, dicha fisuración puede considerarse un deterioro admisible, más o menos compatible con la explotación, siempre que dé su conformidad el cliente o la propiedad. Si se quisiese garantizar una ausencia absoluta de cualquier tipo de deterioro, habría que proceder a un tipo de dimensionamiento estructural siguiendo los criterios y procedimientos de otras Normativas, tales como la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08; sin embargo, esta solución no se considera una práctica recomendable con generalidad y queda fuera de los objetivos de estas Recomendaciones.

6.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE DIMENSIONAMIENTO MEDIANTE EL EMPLEO DEL CATÁLOGO

El procedimiento de dimensionamiento aquí propuesto se ajusta a la metodología que se indica a continuación.

6.4.1 Selección del uso de la superficie portuaria

Los usos considerados son: comercial, industrial, militar, pesquero y deportivo o de recreo.

6.4.2 Selección de la zona dentro del uso considerado

El proyectista ha de dimensionar el firme para una zona definida específicamente dentro del uso considerado. Por ejemplo, dentro del uso comercial se diferencian las zonas de operación, almacenamiento, vías de comunicación y zonas complementarias.

6.4.3 Distinción entre cargas de almacenamiento y cargas de manipulación

Una vez conocido el uso y la zona portuaria donde se va a proyectar el firme, se deben analizar separadamente las cargas de almacenamiento (graneles sólidos, mercancía general, etc.) y las cargas de manipulación debidas a los equipos de manipulación en las operaciones portuarias, (Véase Parte 3). Cuando la zona portuaria objeto de estudio requiera la consideración de los dos tipos de cargas anteriores, se realizará el estudio para ambos casos y se elegirá como determinante el que arroje la situación más desfavorable. Sin embargo, en los casos en los que exista una diferenciación física y permanente entre las superficies de depósito y las de circulación se analizarán ambas situaciones independientemente.

6.4.4 Determinación de la carga de cálculo

De acuerdo con los criterios expuestos en la Parte 3, el proyectista ha de clasificar la carga de cálculo como baja, media o alta.

6.4.5 Determinación de la intensidad de uso

De acuerdo con los criterios de explotación portuaria definidos en la Parte 3, ha de clasificarse la intensidad de uso como reducida, media o elevada.

6.4.6 Determinación de la categoría del tráfico

Con la clasificación de la intensidad de uso y de la carga de cálculo se define la categoría de tráfico para cada una de las distintas zonas estudiadas dentro del uso considerado. Se han establecido tres categorías de tráfico:

TABLA 6.1 CATEGORÍAS DE TRÁFICO

CATEGORÍA DE TRÁFICO	CATEGORÍAS DE CARGAS
-----------------------------	-----------------------------

		ALTA	MEDIA	BAJA
INTENSIDAD DE USO	Elevada	T0	T1	T1
	Media	T1	T1	T2
	Reducida	T1	T2	T2

Fuente: Elaboración propia

6.4.7 Capas inferiores del firme

En estas Recomendaciones no se requiere considerar la categoría de la explanada ya que siempre es obligado alcanzar una capacidad portante mínima de la superficie de apoyo del pavimento.

El diseño de las capas inferiores sobre las que apoya el paquete del pavimento se contempla en la Parte 4, llegándose siempre a una capa de cimiento del firme con una capacidad portante mínima de 300 MPa.

6.4.8 Elección del tipo de firme

Basándose en niveles de exigencia de durabilidad y en las categorías de tráfico asociados a unos objetivos de explotación a fijar por el diseñador se llega a una matriz de decisión de niveles de espesores del pavimento.

TABLA 6.2 DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS

DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS		Durabilidad o Fiabilidad ante deterioros		
		Sin deterioros (1% de fallos). Con máxima funcionalidad	Con deterioros. Con alta funcionalidad (10% de fallos)	Con deterioros. Con funcionalidad aceptable (20% de fallos)
TRÁFICO	T0	Espesor Máximo	Espesor Máximo	Espesor Medio
	T1	Espesor Máximo	Espesor Medio	Espesor Medio
	T2	Espesor Medio	Espesor Medio	Espesor Mínimo

Fuente: Elaboración propia

Este proceso se hará tanto para la carga de almacenamiento como para la de operación y para cada tipo de pavimento de los recogidos en el catálogo para el uso y la zona considerados (ver Catálogo).

Esta selección debe apoyarse fundamentalmente en un análisis económico global de las diversas opciones, considerando en cada caso tanto costes de construcción como de conservación, así como la posible afección a la explotación debida al progresivo deterioro del firme y a las actuaciones que pudieran ser necesarias en el mantenimiento periódico.

Por último, el modo de fallo contemplado en el dimensionamiento no contempla la minoración de la resistencia de los materiales empleados, ya que se considera que las condiciones exigidas en las especificaciones de construcción y el control de calidad requerido deben asegurar, como mínimo, la resistencia considerada en el proyecto.

Este modo de fallo basado en un criterio de rotura no implica la ruina del pavimento. Sólo indica que el pavimento para esa carga y en esa posición puede fisurarse si la resistencia del material no es mayor que la mínima exigida. Esta fisuración no implica pérdida de funcionalidad en el momento de producirse la fisuración. No obstante, la eventual repetición en la misma ubicación de esta situación de sollicitación máxima asociada a los efectos del clima puede llevar al deterioro acelerado del pavimento.

ÍNDICE

- 7.1 Introducción
- 7.2 Prescripciones que deben cumplir las coronaciones de los rellenos
 - 7.2.1 Consideraciones generales
 - 7.2.2 Suelos
 - 7.2.3 Todo uno de cantera
 - 7.2.4 Capas estabilizadas
- 7.3 Prescripciones que deben cumplir las unidades de obra de firme
 - 7.3.1 Consideraciones generales
 - 7.3.2 Zahorras naturales
 - 7.3.3 Zahorras artificiales
 - 7.3.4 Suelos estabilizados
 - 7.3.5 Suelo-cemento
 - 7.3.6 Grava-cemento
 - 7.3.7 Grava-escoria
 - 7.3.8 Hormigón magro
 - 7.3.9 Pavimentos de hormigón vibrado
 - 7.3.10 Pavimentos continuos de hormigón armado
 - 7.3.11 Pavimentos de hormigón armado con fibras
 - 7.3.12 Pavimentos de hormigón compactado con rodillo
 - 7.3.13 Pavimento de adoquines prefabricados de hormigón
 - 7.3.14 Pavimento de mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso
- 7.4 Características superficiales de los pavimentos
 - 7.4.1 Descripción
 - 7.4.2 Zonas de operaciones
 - 7.4.3 Zonas de almacenamiento de graneles sólidos
 - 7.4.4 Zonas de almacenamiento de mercancía general
 - 7.4.5 Zonas de almacenamiento de contenedores
 - 7.4.6 Zonas de almacenamiento de semirremolques. Terminales ro-ro
 - 7.4.7 Zonas de uso pesquero
 - 7.4.8 Vías de comunicación
 - 7.4.9 Otras zonas

7.4.10 Características superficiales de los pavimentos, según tipología

7.5 Detalles constructivos

7.5.1 Entrevías

7.6 Drenaje de superficies portuarias

7.6.1 Introducción

7.6.2 Informaciones básicas necesarias

7.6.3 Análisis de datos

7.6.3.1 Selección de las pendientes

7.6.3.2 Estimación de caudales

7.6.4 Reunión y distribución de las aguas a evacuar

7.6.5 Corrientes de agua en conducciones

7.6.6 Elementos estructurales del sistema de drenaje

7.6.7 Cargas en conductos

7.6.8 Control de la erosión

7.6.9 Estancamiento

7.6.10 Drenaje del subsuelo

7.6.11 Construcción y mantenimiento del sistema

7.6.12 Hidroplaneo

PRESCRIPCIONES DE PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN

Se incluyen recomendaciones de proyecto y construcción de los firmes y pavimentos, con las principales especificaciones que se deben exigir a los materiales empleados en cada caso. Se incluyen así mismo recomendaciones sobre las características superficiales que deben tener los distintos pavimentos, en especial las necesarias para posibilitar la evacuación de las aguas de lluvia.

7.1 INTRODUCCIÓN

Esta parte de las Recomendaciones pretende ser una guía para la redacción de los pliegos de prescripciones técnicas particulares de los proyectos. Aunque se ha intentado que este documento tenga un carácter autónomo, en este punto es inevitable tomar como referencia y, por tanto, recurrir a las prescripciones generales de la Dirección General de Carreteras (Ministerio de Fomento). Dichas prescripciones vendrán recogidas en:

- "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras" PG-4, que se inicia con la aparición de la Orden Circular 8/01 de 27 de diciembre de 2001. Inicialmente, este pliego de prescripciones técnicas generales, cuya redacción se autorizó por Orden Ministerial (O.M) de 21 de enero de 1988 (BOE de 3 de febrero), se denominaba abreviadamente como PG-4/88. Dicho documento englobaba el conjunto de modificaciones realizadas sobre determinados artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de Carreteras y Puentes PG-3. En esos momentos no existía una edición refundida del PG-4, por lo que se consideraba que a efectos prácticos estaba formado por el *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales* PG-3 (aprobado por O.M. de 6 de febrero de 1976, BOE de 7 de julio) y por las modificaciones posteriores de algunos de sus artículos, aprobadas por (O.M.) o por Orden Circular (O.C.) de la Dirección General de Carreteras. Actualmente, dicho pliego es un documento independiente del PG-3, tratando de materias distintas a las que se incluyen en este último.

- “Pliego de Prescripciones Técnicas Generales PG-3” (aprobado por O.M. de 6 de febrero de 1976, BOE de 7 de julio) y por las modificaciones posteriores de sus artículos.

7.2 PRESCRIPCIONES QUE DEBEN CUMPLIR LA CORONACIÓN DE LOS RELLENOS

7.2.1 Consideraciones generales

Para coronaciones de rellenos portuarios se pueden emplear también materiales específicos, como el todo uno procedente de los frentes de cantera, pero por otro se pueden utilizar también los mismos materiales que se emplean en las coronaciones de los rellenos compactados de las carreteras, es decir, suelos o materiales locales que se obtienen de las excavaciones realizadas en obra, en forma de coronación de terraplén (según artículo 330 del PG-3).

7.2.2 Suelos

Para el tipo de materiales que constituirán la coronación del relleno portuario, es de aplicación el artículo 330 del PG-3 referido a terraplenes. Puede tratarse, siguiendo las denominaciones de dicho artículo y de menor a mayor categoría: suelos adecuados, seleccionados y seleccionados con CBR > 20.

Por lo general, se utilizarán materiales que permitan cumplir las condiciones básicas siguientes:

- Puesta en obra en condiciones aceptables.
- Estabilidad satisfactoria de la obra.
- Deformaciones tolerables a corto y largo plazo, para las condiciones de servicio que se definan en proyecto.

El proyecto de obra debe especificar el tipo de material a emplear y las condiciones de puesta en obra, de acuerdo con la clasificación en lo que al tipo de suelos se refiere, así como las divisiones adicionales que en el mismo se establezcan, según los materiales locales disponibles.

7.2.3 Todo uno de cantera

El material para rellenos todo uno será aquel que tenga condiciones granulométricas intermedias entre las necesarias para ser considerado material para pedraplén (artículo 331 del PG-3) y material para terraplén (artículo 330 del PG-3). Es decir, aquellos que cumplen las condiciones siguientes:

- Materiales cuyo contenido en finos (pasa por el tamiz 0,080 UNE) es menor 35% y cuyo contenido de partículas que pasen por el tamiz 20 UNE es menor o igual al 70% y superior o igual al 30%.
- Materiales cuyo contenido en peso de partículas que pasan por el tamiz 20 UNE es inferior al 30%, pero tienen un contenido en finos (material que pasa por el tamiz 0,080 UNE) superior o igual al 10%.
- Además, también se consideran materiales para rellenos todo uno aquellos que cumplen las condiciones granulométricas de pedraplén, pero en los que el tamaño máximo es menor a 100 mm.

Los materiales para rellenos todo uno que no cumpliendo los requisitos necesarios para ser utilizados como material para terraplenes ni para pedraplenes, cumplan las condiciones granulométricas anteriores pero que tengan un tamaño máximo superior a 300 mm, requieren un estudio especial para su utilización en rellenos todo uno.

El espesor de las tongadas será el adecuado para que, con los medios disponibles, se obtenga en toda la tongada el grado de compacidad deseado. Dicho espesor será de 40 cm y en todo caso superior a tres medios (3/2) del tamaño máximo del material a utilizar. El espesor máximo de las tongadas, una vez compactadas, no será superior a 60 cm.

Salvo en lo que se refiere a la granulometría, los materiales cumplirán las mismas especificaciones que las que se exigen a las zahorras naturales (apartado 7.3.2)

7.2.3 Capas estabilizadas

A la hora de la formación de las explanadas una opción es el empleo de capas es materiales estabilizados.

Se define como suelo estabilizado in situ la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con cal o con cemento, y eventualmente agua, en la propia traza de la carretera, la cual convenientemente compactada, tiene por objeto disminuir la susceptibilidad al agua del suelo o aumentar su resistencia, para su uso en la formación de explanadas.

El artículo 512, Suelos estabilizados in situ, del PG-3 define los materiales para la estabilización, cal o cemento, los tipos de suelo susceptibles de una posible estabilización, la manera de ejecutar esta unidad de obra, así como los requerimientos finales de la unidad terminada.

7.3 PRESCRIPCIONES QUE DEBEN CUMPLIR LAS UNIDADES DEL OBRA DE FIRME

7.3.1 Consideraciones generales

Debe tenerse en cuenta que para un adecuado comportamiento de los firmes y pavimentos es fundamental la calidad de los materiales empleados en las distintas capas, de manera que una deficiencia en dicha calidad sólo a veces, y únicamente en parte, puede ser compensada por un sobreespesor de las capas. En este sentido, a pesar de la singularidad de las obras portuarias, debe considerarse que las especificaciones seguidas habitualmente en la técnica de carreteras son la mejor referencia posible. Ello no obsta, para que, por un lado, deban ser tenidas en cuenta eventuales limitaciones en los procedimientos constructivos y, por otro lado, y fundamentalmente, deba tenderse al máximo aprovechamiento de los materiales disponibles. Esto último no debe ser un pretexto para aceptar rebajas en la calidad, sino un criterio decisivo para la elección en cada caso de las distintas unidades de obra y por tanto de la sección de firme más viable técnica y económicamente.

7.3.2 Ahorros naturales

En relación a esta unidad de obra se estará a lo dispuesto en la orden FOM/891/2004, de 1 de marzo, por la que se actualizan e incorporan determinados artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), relativos a firmes y pavimentos. Se recogen todas las consideraciones técnicas en lo que respecta a esta unidad de obra en el artículo 510, ahorros, del PG-3.

Los materiales empleados serán áridos no triturados procedentes de graveras o depósitos naturales. Podrán también utilizarse subproductos de naturaleza pétreo (escorias, por ejemplo), siempre que se pueda asegurar que no se van a producir alteraciones químicas o físicas al entrar en contacto con el agua o con otras sustancias.

Deseablemente, la curva granulométrica estará comprendida dentro del huso denominado ZN (25). Hay que tender a emplear los tamaños máximos de árido más reducidos que sea posible, para tratar de minimizar los eventuales fenómenos de segregación, es por ello que se intentará evitar husos mayores, como el ZN (40).

TABLA 7.1 TIPOS DE ZAHORRA NATURAL

TIPO DE ZAHORRA NATURAL (*)	ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)									
	50	40	25	20	8	4	2	0,500	0,250	0,063
ZN40	100	80-95	60-90	54-84	35-63	22-46	15-35	7-23	4-18	0-9
ZN25	-	100	75-95	65-90	40-68	27-51	20-40	7-26	4-20	0-11
ZN20	-	-	100	80-100	45-75	32-61	25-50	10-32	5-24	0-11

Fuente: PG-3

El contenido ponderal de compuestos de azufre totales (expresados en SO₃), determinado según la UNE-EN 1744-1, será inferior al cinco por mil (0,5%) donde los materiales estén en contacto con capas tratadas con cemento, e inferior al uno por ciento (1%) en los demás casos. Los materiales estarán exentos de terrones de arcilla, marga, materia orgánica, o cualquier otra que pueda afectar a la durabilidad de la capa.

La plasticidad del material para la zahorra natural será nula.

El valor del coeficiente de Los Ángeles será inferior a 35, cuando se trate de áridos naturales. Para materiales reciclados procedentes de capas de aglomerado de firmes de carretera o de demoliciones de hormigones y para áridos siderúrgicos a emplear como zahorras naturales el valor del coeficiente de Los Ángeles será inferior a 40.

La zahorra natural podrá admitir una densidad después de su compactación no inferior al 98% de la máxima de referencia obtenida en el ensayo Proctor Modificado, según la UNE 103501. Además, deberá ser material no plástico.

La zahorra natural se extenderá en una única tongada cuando el espesor de capa no supere los 0,30 m y en dos, aproximadamente del mismo espesor, cuando el espesor total sea superior a dicho valor. La extensión se realizará con motoniveladora o con extendedora.

La compactación se realizará mediante compactadores autopropulsados con inversores del sentido de la marcha de acción suave. La composición del equipo de compactación deberá estar compuesto como mínimo por un compactador vibratorio de rodillos metálicos. El rodillo metálico del compactador vibratorio tendrá una carga estática sobre la generatriz no inferior 300 N/cm y será capaz de alcanzar una masa de al menos 15 t, con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas. Si se utilizasen compactadores de neumáticos, éstos deberán ser capaces de alcanzar una masa de al menos 35 t y una carga por rueda de 5 t, con una presión de inflado que pueda llegar a alcanzar un valor no inferior a 0,8 MPa.

Para el control de recepción de la unidad terminada, se seguirán los siguientes criterios:

- Se considerará como lote, que se aceptará o rechazará en bloque, al menor que resulte de aplicar los 3 criterios siguientes a 1 sola tongada de zahorra:

- Una longitud de 500 m de calzada (solo para viales).
- Una superficie de 3.500 m² de explanada.
- La fracción construida diariamente.

- La realización de los ensayos in situ y la toma de muestras se hará en puntos previamente seleccionados mediante muestreo aleatorio, tanto en sentido longitudinal como transversal; de tal forma que haya al menos una toma o ensayo por cada 100m. Si durante la construcción se observaran defectos localizados, tales como blandones, se corregirán antes de iniciar el muestreo.

- Se realizarán determinaciones de humedad y de densidad en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de 7 por cada lote. En el caso de usarse sonda nuclear u otros métodos rápidos de control, éstos habrán sido convenientemente calibrados en la realización del tramo de prueba. En los mismos puntos donde se realice el control de la densidad se determinará el espesor de la capa de zahorra.

- Se comparará la rasante de la superficie terminada con la teórica establecida en los planos del proyecto. Se controlará la regularidad superficial del lote a partir de las 24 h de su ejecución y siempre antes de la extensión de la siguiente capa. La rasante de la superficie acabada no deberá superar a la teórica en ningún punto, ni quedar por debajo de ella, en más de 0,015 m.

7.3.3 Zahorras artificiales

En relación a esta unidad de obra se seguirá a lo dispuesto en la orden FOM/891/2004, de 1 de marzo, por la que se actualizan e incorporan determinados artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), relativos a firmes y pavimentos. Se recogen todas las consideraciones técnicas en lo que respecta a esta unidad de obra en el artículo 510, zahorras, del PG-3.

Los materiales que constituyen la zahorra artificial procederán de la trituración, total o parcial, de piedra de cantera o de grava natural. Podrán también utilizarse subproductos de naturaleza pétreo (escorias, por ejemplo), siempre que se pueda asegurar que no se van a producir alteraciones químicas o físicas al entrar en contacto con el agua o con otras sustancias.

El contenido ponderal de compuestos de azufre totales (expresados en SO₃), determinado según la UNE-EN 1744-1, será inferior al cinco por mil (0,5%) donde los materiales estén en contacto con capas tratadas con cemento, e inferior al uno por ciento (1%) en los demás casos.

Deseablemente, la curva granulométrica estará comprendida dentro del huso denominado ZA (25). Hay que tender a emplear los tamaños máximos de árido más reducidos que sea posible, para tratar de minimizar los eventuales fenómenos de segregación.

TABLA 7.2 TIPOS DE ZAHORRA ARTIFICIAL

TIPO DE ZAHORRA ARTIFICIAL	ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)								
	40	25	20	8	4	2	0,500	0,250	0,063
ZA25	100	75-100	65-90	40-63	26-45	15-32	7-21	4-16	0-9
ZA20	-	100	75-100	45-73	31-54	20-40	9-24	5-18	0-9
ZAD20	-	100	65-100	30-58	14-37	0-15	0-6	0-4	0-2

Fuente: PG-3

En el caso de las zahorras artificiales, el índice de lajas de las distintas fracciones del árido grueso, según la UNE-EN 933-3, deberá ser inferior a 35. El porcentaje mínimo de partículas trituradas, según la UNE-EN 933-5, será del 100%.

El material deberá cumplir además las siguientes condiciones:

- Se podrá admitir una densidad no inferior al 100% de la máxima de referencia obtenida en el ensayo Proctor Modificado, según la UNE 103501.
- Los materiales estarán exentos de terrones de arcilla, marga, materia orgánica, o cualquier otra que pueda afectar a la durabilidad de la capa. El coeficiente de limpieza deberá ser inferior a 2.
- El coeficiente de desgaste Los Ángeles será inferior a 30. Para materiales reciclados procedentes de capas de aglomerado de firmes de carretera o de demoliciones de hormigones de resistencia a compresión final superior a 35 MPa, así como para áridos siderúrgicos, el valor del coeficiente de Los Ángeles podrá ser inferior a 35 unidades, siempre y cuando su composición granulométrica esté adaptada al huso ZAD20.
- El equivalente de arena será mayor de 40.
- Material no plástico.

Una vez aceptada la superficie de asiento se procederá a la extensión de la zahorra, en tongadas de espesor no superior a 30 cm, tomando las precauciones necesarias para evitar segregaciones y contaminaciones. Todas las operaciones de aportación de agua deberán tener lugar antes de iniciar la compactación. Después, la única admisible será la destinada a lograr, en superficie, la humedad necesaria para la ejecución de la tongada siguiente. La extensión se realizará con motoniveladora o con extendedora.

La compactación se realizará mediante compactadores autopropulsados con inversores del sentido de la marcha de acción suave. La composición del equipo de compactación deberá estar compuesto como mínimo por un compactador vibratorio de rodillos metálicos. El rodillo metálico del compactador vibratorio tendrá una carga estática sobre la generatriz no inferior a 300 N/cm y será capaz de alcanzar una masa de al menos 15 t, con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas. Si se utilizasen compactadores de neumáticos, éstos deberán ser capaces de alcanzar una masa de al menos 35 t y una carga por rueda de 5 t, con una presión de inflado que pueda llegar a alcanzar un valor no inferior a 0,8 MPa.

Para el control de recepción de la unidad terminada, se seguirán los siguientes criterios:

- Se considerará como lote, que se aceptará o rechazará en bloque, al menor que resulte de aplicar los tres criterios siguientes a una sola tongada de zahorra:

- * Una longitud de 500 m de calzada (solo para viales).
- * Una superficie de 3.500 m² de explanada.
- * La fracción construida diariamente.

- La realización de los ensayos *in situ* y la toma de muestras se hará en puntos previamente seleccionados mediante muestreo aleatorio, tanto en sentido longitudinal como transversal; de tal forma que haya al menos una toma o ensayo por cada 100 m. Si durante la construcción se observaran defectos localizados, tales como blandones, se corregirán antes de iniciar el muestreo.

- Se realizarán determinaciones de humedad y de densidad en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de siete por cada lote. En el caso de usarse sonda nuclear u otros métodos rápidos de control, éstos habrán sido convenientemente calibrados en la realización del tramo de prueba. En los mismos puntos donde se realice el control de la densidad se determinará el espesor de la capa de zahorra.

- Se comparará la rasante de la superficie terminada con la teórica establecida en los planos del proyecto. Se controlará la regularidad superficial del lote a partir de las 24 h de su ejecución y siempre antes de la extensión de la siguiente capa. La rasante de la superficie acabada no deberá superar a la teórica en ningún punto, ni quedar por debajo de ella en más de 0,015 m.

El Índice de Regularidad Internacional (IRI), según la NLT-330, deberá cumplir en zahorras artificiales lo fijado en la tabla siguiente, en función del espesor total de las capas que se vayan a extender sobre ella.

TABLA 7.3 INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) (dm/hm)

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	ESPESOR TOTAL DE LAS CAPAS SUPERIORES (cm)		
	$e \geq 20$	$10 < e < 20$	$e \leq 10$
50	< 3,0	< 2,5	< 2,5
80	< 4,0	< 3,5	< 3,5
100	< 5,0	< 4,5	< 4,0

Fuente: PG-3

Se comprobará que no existen zonas que retengan agua sobre la superficie, las cuales, si existieran, deberán corregirse por el contratista a su cargo.

7.3.4 Suelos estabilizados

Se define como suelo estabilizado in situ la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con cal o con cemento, y eventualmente agua, en la propia traza de la carretera, la cual convenientemente compactada, tiene por objeto disminuir la susceptibilidad al agua del suelo o aumentar su resistencia, para su uso en la formación de explanadas.

El artículo 512, Suelos estabilizados in situ, del PG-3 define los materiales para la estabilización, cal o cemento, los tipos de suelo susceptibles de una posible estabilización, la manera de ejecutar esta unidad de obra, así como los requerimientos finales de la unidad terminada.

Actualmente la tecnología existente permite contemplar estabilizaciones in situ como capas inferiores de firme. No obstante, es necesario contemplar equipos de última generación, así como equipos con experiencia contrastada que permitan garantizar la calidad del producto final. Para ello será necesario definir unos planes de control y recepción exhaustivos.

7.3.5 Suelo-cemento

En relación a esta unidad de obra se estará a lo dispuesto en la orden FOM/891/2004, de 1 de marzo, por la que se actualizan e incorporan determinados artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), relativos a firmes y pavimentos. Se recogen todas las consideraciones técnicas en lo

relativo a esta unidad de obra en el artículo 513, materiales tratados con cemento (Suelo-cemento y Grava-cemento), del PG-3.

Se define como material tratado con cemento la mezcla homogénea, en las proporciones adecuadas, de material granular, cemento, agua y, eventualmente aditivos, realizada en central, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural en firmes de carretera o firmes portuarios.

Su ejecución incluye las siguientes operaciones:

- Fabricación de la mezcla en central En este apartado se contempla únicamente situaciones de suelo-cemento fabricado en central.
- Preparación de la superficie existente.
- Transporte y extensión de la mezcla.
- Prefisuración (cuando sea necesario).
- Compactación y terminación.
- Curado y protección superficial.

Los dos tipos de material tratado con cemento, en caso de suelo-cemento, se denominan, respectivamente, SC40 y SC20. En cualquier caso, el huso granulométrico que mejor se adapta a nuestras condiciones de trabajo será el SC-20, no obstante, puede usarse el SC-40 en zonas con sollicitaciones de cálculo no demasiado intensas. Asimismo, se podrán emplear husos diferentes siempre que se realicen los ensayos, caracterizaciones y tramos de prueba que permitan la aprobación de su utilización.

El cemento que se usará como ligante cumplirá las prescripciones del artículo 202 del PG-3, el cual a su vez se apoya en la "Instrucción para la recepción de cementos RC-08". Se recomienda el empleo de cementos de alto contenido en adiciones (tipos III, IV, V o ESP VI-1) y clase resistente media-baja (32,5 o 42,5 MPa a 7 días). No se emplearán cementos de aluminato de calcio, ni mezclas de cemento con adiciones que no hayan sido realizadas en fábrica.

El material granular cumplirá las siguientes especificaciones:

- Estará exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa.

- No será susceptible de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del firme, o contaminar el suelo o corrientes de agua.

- El límite líquido del material granular del suelo-cemento, según la UNE 103103, deberá ser inferior a 30, y su índice de plasticidad, según la UNE 103104, deberá ser inferior a 15.

- No se utilizarán los materiales que presenten una proporción de materia orgánica, según la UNE 103204, superior al 1%.

- La granulometría del material granular empleado en la fabricación del suelo-cemento deberá ajustarse a uno de los husos siguientes.

TABLA 7.4 TIPO DE SUELO-CEMENTO

TIPO DE SUELO-CEMENTO	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (% en masa)									
	ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)									
	50	40	25	20	12,5	8	4	2	0,5	0,063
SC40	100	80-100	67-100	62-100	53-100	45-89	30-65	17-52	5-37	2-20
SC20	-	-	100	92-100	76-100	63-100	48-100	36-94	18-65	2-35

Fuente: PG-3

- El contenido ponderal de compuestos totales de azufre y sulfatos solubles en ácido (SO₃), referidos al material granular en seco, determinados según la UNE-EN 1744-1, no será superior al 1%. Si el contenido ponderal de sulfatos solubles (SO₃) en los materiales granulares que se vayan a utilizar fuera superior al 0,5% en masa, deberá emplearse un cemento resistente a los sulfatos. En general, el material granular no presentará reactividad potencial con los álcalis del cemento.

El principio de fraguado no podrá tener lugar antes de las dos horas. No obstante, si la extensión se realizase con temperatura ambiente superior a 30°C, el principio de

fraguado, no podrá tener lugar antes de una hora. En general podrá autorizarse el empleo de un retardador de fraguado para ampliar el plazo de trabajabilidad del material (El empleo de retardadores de fraguado será obligatorio cuando la temperatura ambiente durante la extensión de la mezcla supere los 30°C).

El contenido mínimo de cemento del suelo-cemento será tal que permita la consecución de las resistencias indicadas posteriormente. En cualquier caso, dicho contenido no será inferior al 3% en masa, respecto del total del material granular en seco, y en general estará en torno del 3 al 6%.

La resistencia a compresión (NLT-305) del suelo-cemento no deberá ser inferior a 2,5 MPa ni superior a 4,5 MPa a 7 días, obtenida sobre probetas compactadas (NLT-108 o NLT-310) al 98% de la densidad máxima Proctor Modificado. Si se emplean cementos de alto contenido en adiciones (tipos III, IV-B, V o ESP VI-1) y clase resistente media-baja, a fin de no ir a contenidos de conglomerante excesivos, la resistencia que debe alcanzarse a 7 días se reducirá a 2,1 MPa.

Para la descarga y extensión de la mezcla desde camiones, en el caso de utilizarse extendedoras que no estén provistas de una tolva para la descarga del material desde los camiones, ésta deberá realizarse a través de dispositivos de preextensión (carretones o similares) que garanticen un reparto adecuado del material delante del equipo de extensión.

El vertido y la extensión se realizarán tomando las precauciones necesarias para evitar segregaciones y contaminaciones. El espesor de la tongada antes de compactar deberá ser tal que, con la compactación, se obtenga el espesor previsto en los planos con las tolerancias establecidas, teniendo en cuenta que, en ningún caso, se permitirá el recrecimiento de espesor en capas delgadas una vez iniciada la compactación.

Para la compactación todos los compactadores deberán ser autopropulsados, tener inversores del sentido de la marcha de acción suave y estar dotados de dispositivos para mantenerlos húmedos, en caso necesario. La composición del equipo de compactación deberá estar compuesto como mínimo un compactador vibratorio de rodillos metálicos y un compactador de neumáticos. El rodillo metálico del compactador vibratorio tendrá una carga estática sobre la generatriz no inferior a 300 N/cm y será capaz de alcanzar una

masa de al menos 15 t con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas. El compactador de neumáticos será capaz de alcanzar una masa de al menos 35 t y una carga por rueda de 5 t, con una presión de inflado que pueda llegar a alcanzar un valor no inferior a 0,8 MPa.

Para la ejecución de las juntas transversales en fresco se utilizarán equipos automotrices que efectúen en cada pasada un surco recto que penetre al menos 2/3 del espesor de la capa y que al mismo tiempo introduzca en él un producto adecuado para impedir que la junta se cierre de nuevo. Este producto podrá consistir en una emulsión bituminosa de rotura rápida, una cinta de plástico flexible, un perfil ondulado de plástico rígido u otros sistemas que además de impedir que se cierre de nuevo la junta durante la compactación, permitan la transmisión de cargas entre los dos lados de la junta.

En el transporte de los materiales tratados con cemento se tomarán las debidas precauciones para reducir al mínimo la segregación y las variaciones de humedad. Se cubrirá siempre la mezcla con lonas o cobertores adecuados.

La densidad de la capa tras el proceso de compactación no deberá ser inferior al 98% de la densidad máxima Proctor Modificado, según la UNE 103501. La superficie de la capa terminada deberá presentar una textura uniforme, exenta de segregaciones y ondulaciones, y con las pendientes adecuadas. La rasante no deberá superar a la teórica en ningún punto, ni quedar por debajo de ella, en más de 15 mm.

No se permitirá la ejecución de materiales tratados con cemento:

- Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea superior a los treinta y cinco grados Celsius (35°C).
- Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a 5°C y exista previsión de heladas.
- Cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas intensas.

7.3.6 Grava-cemento

En relación a esta unidad de obra se estará a lo dispuesto en la orden FOM/891/2004, de 1 de marzo, por la que se actualizan e incorporan determinados artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), relativos a firmes y pavimentos. Se recogen todas las consideraciones técnicas en lo relativo a esta unidad de obra en el artículo 513, materiales tratados con cemento (Suelo-cemento y Grava-cemento), del PG-3.

Se define como material tratado con cemento la mezcla homogénea, en las proporciones adecuadas, de material granular, cemento, agua y, eventualmente aditivos, realizada en central, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural en firmes de carretera o firmes portuarios.

Su ejecución incluye las siguientes operaciones:

- Fabricación de la mezcla en central.
- Preparación de la superficie existente.
- Transporte y extensión de la mezcla.
- Prefisuración (cuando sea necesario).
- Compactación y terminación.
- Curado y protección superficial.

Los dos tipos de material tratado con cemento, en caso de grava-cemento, se denominan, respectivamente, GC25 y GC20. En cualquier caso, el huso granulométrico que mejor se adapta a nuestras condiciones de trabajo será el GC-20, no obstante, puede usarse el GC-25 en zonas con solicitaciones de cálculo no demasiado intensas.

El cemento que se usará como ligante cumplirá las prescripciones del artículo 202 del PG-3, el cual a su vez se apoya en la "Instrucción para la recepción de cementos RC-08". Los cementos a utilizar serán, en general, de clase resistente media o baja. Se recomienda el empleo de cementos de alto contenido de adiciones (tipo III, IV, V o ESP VI-1) y clase resistente media-baja ($\leq 42,5$ MPa a 7 días). La dotación de cemento será como mínimo del 3,5% bajo capas bituminosas, valor que se elevará hasta el 5% bajo pavimentos de hormigón en masa.

En la grava-cemento se utilizará un árido natural procedente de la trituración de piedra de cantera o de gravera. También se podrán utilizar productos inertes de desecho o

subproductos, en cumplimiento del Acuerdo de Consejo de Ministros de 1 de junio de 2001 por el que se aprueba el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006, en cuyo caso, sus características y las condiciones para su utilización deberán venir fijadas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. El árido se suministrará, al menos, en 2 fracciones granulométricas diferenciadas.

El árido de la grava-cemento no será susceptible de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del firme, o contaminar el suelo o corrientes de agua.

El árido para la grava-cemento, el cual se divide en árido fino y árido grueso (en función de si pasa o no por el tamiz 4mm de la UNE-EN 933-2) cumplirá las siguientes especificaciones:

- Estará exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa. La proporción de terrones de arcilla no excederá del 1% en masa, según la UNE 7133 para el árido fino de la mezcla. Para el árido grueso, la proporción no excederá del 0,25% en masa.

- El equivalente de arena, en el caso del árido fino, según la UNE-EN 933-8, deberá ser superior a 40, para la grava-cemento tipo GC20, y a 35, para la grava-cemento tipo GC25. De no cumplirse estas condiciones, su valor de azul de metileno, según la UNE-EN 933-9, deberá ser inferior a 10 y, simultáneamente, el equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8, deberá ser superior a 30, para ambos tipos.

- El árido fino para capas de grava-cemento, será no plástico. En algunos casos excepcionales, se puede admitir:

* Límite líquido inferior a veinticinco ($LL < 25$), según la UNE 103103.

* Índice de plasticidad inferior a seis ($IP < 6$), según la UNE 103104.

- El árido en general, tanto fino como grueso, no será susceptible de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciable bajo las condiciones más

desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del firme, o contaminar el suelo o corrientes de agua.

- No se utilizarán los materiales que presenten una proporción de materia orgánica, según la UNE 103204, superior al 0,05%.

- Para el árido grueso, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- La proporción de partículas trituradas del árido grueso, según la UNE-EN 933-5, deberá ser superior al 75% en masa del peso de dicho árido.
- El máximo índice de lajas de las distintas fracciones del árido grueso, según la UNE-EN 933-3, será de 30.
- El máximo valor del coeficiente de Los Ángeles de las distintas fracciones del árido grueso, según la UNE-EN 1097-2, será de 30 (En el caso de materiales reciclados procedentes de capas de mezclas bituminosas, pavimento de hormigón, materiales tratados con cemento o de demoliciones de hormigones de resistencia a compresión final superior a 35 MPa, el valor del coeficiente de los Ángeles podrá ser inferior a 35).

- La granulometría de los áridos empleados en la fabricación de la grava-cemento deberá ajustarse a uno de los husos definidos a continuación.

TABLA 7.5 TIPO DE GRAVA-CEMENTO

TIPO DE GRAVA-CEMENTO	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (% en masa)									
	ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)									
	40	25	20		8	4	2	0,5	0,063	
GC25	100	76-100	67-91		38-	25-	16-	6-21	1-7	

					63	48	37			
GC20	-	100	80-100		44- 68	28- 51	19- 39	7-22	1-7	

Fuente: PG-3

- El contenido ponderal de compuestos totales de azufre y sulfatos solubles en ácido (SO₃), referidos al árido en seco, determinados según la UNE-EN 1744-1, no será superior al 0,8%. Si el contenido ponderal de sulfatos solubles (SO₃) en los materiales granulares que se vayan a utilizar fuera superior al 0,4% en masa, deberá emplearse un cemento resistente a los sulfatos. En general, el material granular no presentará reactividad potencial con los álcalis del cemento.

El principio de fraguado no podrá tener lugar antes de las dos horas. No obstante, si la extensión se realizase con temperatura ambiente superior a 30°C, el principio de fraguado, no podrá tener lugar antes de una hora. En general podrá autorizarse el empleo de un retardador de fraguado para ampliar el plazo de trabajabilidad del material (El empleo de retardadores de fraguado será obligatorio cuando la temperatura ambiente durante la extensión de la mezcla supere los 30 °C).

El contenido mínimo de cemento de la grava-cemento será tal que permita la consecución de las resistencias indicadas posteriormente. En cualquier caso, dicho contenido no será inferior al 3,5% en masa, respecto del total del árido en seco.

La resistencia de la mezcla de la grava-cemento a los 7 días será como mínimo de 4,5 MPa y como máximo de 7,0 MPa.

La resistencia media a compresión (NLT-305) de la grava-cemento a disponer bajo capas bituminosas no deberá ser inferior a 4,5 MPa a 7 días. Este valor se obtendrá como media aritmética de los resultados obtenidos con 3 probetas al menos, compactadas según norma NLT310 al 98% de la densidad máxima Proctor Modificado, obtenida según UNE 103501. En caso de emplearse cementos con alto contenido de adiciones (tipos III, IV, V o ESP VI-1) este valor de resistencia se disminuirá en un 15%.

Para la descarga y extensión de la mezcla desde camiones, en el caso de utilizarse extendedoras que no estén provistas de una tolva para la descarga del material desde

los camiones, ésta deberá realizarse a través de dispositivos de preextensión (carretones o similares) que garanticen un reparto adecuado del material delante del equipo de extensión.

El vertido y la extensión se realizarán tomando las precauciones necesarias para evitar segregaciones y contaminaciones. El espesor de la tongada antes de compactar deberá ser tal que, con la compactación, se obtenga el espesor previsto en los planos con las tolerancias establecidas, teniendo en cuenta que, en ningún caso, se permitirá el recrecimiento de espesor en capas delgadas una vez iniciada la compactación.

Para la compactación todos los compactadores deberán ser autopropulsados, tener inversores del sentido de la marcha de acción suave y estar dotados de dispositivos para mantenerlos húmedos, en caso necesario. La composición del equipo de compactación deberá estar compuesto como mínimo un compactador vibratorio de rodillos metálicos y un compactador de neumáticos. El rodillo metálico del compactador vibratorio tendrá una carga estática sobre la generatriz no inferior a 300 N/cm y será capaz de alcanzar una masa de al menos 15 t con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas. El compactador de neumáticos será capaz de alcanzar una masa de al menos 35 t y una carga por rueda de 5 t, con una presión de inflado que pueda llegar a alcanzar un valor no inferior a 0,8 MPa.

Para la ejecución de las juntas transversales en fresco se utilizarán equipos automotrices que efectúen en cada pasada un surco recto que penetre al menos $2/3$ del espesor de la capa y que al mismo tiempo introduzca en él un producto adecuado para impedir que la junta se cierre de nuevo. Este producto podrá consistir en una emulsión bituminosa de rotura rápida, una cinta de plástico flexible, un perfil ondulado de plástico rígido u otros sistemas que además de impedir que se cierre de nuevo la junta durante la compactación, permitan la transmisión de cargas entre los dos lados de la junta.

En el transporte de los materiales tratados con cemento se tomarán las debidas precauciones para reducir al mínimo la segregación y las variaciones de humedad. Se cubrirá siempre la mezcla con lonas o cobertores adecuados.

La densidad de la capa tras el proceso de compactación no deberá ser inferior al 98% de la densidad máxima Proctor Modificado, según la UNE 103501. La superficie de la capa

terminada deberá presentar una textura uniforme, exenta de segregaciones y ondulaciones, y con las pendientes adecuadas. La rasante no deberá superar a la teórica en ningún punto, ni quedar por debajo de ella en más de 15 mm.

No se permitirá la ejecución de materiales tratados con cemento:

- Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea superior a los 35°C.
- Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a 5°C y exista previsión de heladas.
- Cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas intensas.

7.3.7 Grava-escoria

Esta unidad de obra es la definida en el artículo 515 del PG-3. Dicho artículo fue derogado por Orden FOM 891/2004.

Los áridos procederán del machaqueo y trituración de piedra de cantera o grava natural. Serán limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable, exentos de polvo, suciedad, arcilla u otros materiales extraños. Los áridos empleados se diferencian de los de la grava-cemento fundamentalmente en la menor proporción de materiales de tamaño inferior a 0,08 mm. De los husos especificados se empleará en general el denominado GEG 1, cuya curva granulométrica estará comprendida, en general, dentro de los límites indicados:

TABLA 7.6 TAMICES UNE

CEDAZOS Y TAMICES UNE	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)
	GEG 1
25	100

20	85-100
10	40-70
5	22-46
2,5	12-32
1,25	8-24
0,4	2-13
0,16	0-8
0,08	0-4

Fuente: PG-3

Los áridos a emplear en grava-escoria, deberán contener al menos un 50% en peso, de la fracción retenida por el tamiz 5 UNE, de elementos machacados que presenten dos caras o más de fractura.

El coeficiente de desgaste, medido por el ensayo de Los Ángeles, según la Norma NLT-149/72, será inferior a 30. Los áridos serán no plásticos y su equivalente de arena será superior a 30.

No se utilizarán aquellos materiales que presenten una proporción de materia orgánica, expresada en ácido tánico, 0,05 %, de acuerdo con la Norma UNE 7082. La proporción de terrones de arcilla no excederá del 2% en peso, según la Norma UNE 7133.

En lo relativo a la escoria granulada, debemos hacer las siguientes consideraciones:

- Se define como escoria granulada el producto obtenido por enfriamiento brusco y controlado de la escoria de horno alto, a la salida del mismo.

- Se proscribe el empleo de escorias que procedan de acopios siderúrgicos.

- El coeficiente de reactividad a , definido por la expresión

$$a = (s \cdot f) / 1000$$

deberá ser superior a 20, siendo: s , la superficie específica Blaine, y f , el tanto por ciento (%) en peso de los elementos que pasan por el tamiz 0,080 UNE, obtenidos en molienda normalizada de la escoria.

- Los valores máximos del contenido de agua h, respecto al peso seco de la escoria, en función del correspondiente coeficiente a de la escoria serán:

20 < a < 40	h < 15 %
40 < a < 60	h < 20 %
60 < a	h < 25 %

En lo relativo a las especificaciones a exigir a la cal que se utilizará en la mezcla, indicar:

- Deberá cumplir lo especificado en el artículo 200, "Cal aérea", para el tipo I,

- Además deberá reunir las características que se indican a continuación:

- Cal apagada: La finura Blaine del material que pasa por el tamiz 0.080 UNE será superior 7.000 cm²/g), según la Norma UNE 7144. El porcentaje de cal libre será superior al 50%.
- Cal viva: Sólo podrá utilizarse en casos excepcionales, con la aprobación del Director, y siempre que se adopten las medidas de seguridad necesarias. El porcentaje de cal libre deberá ser superior al 70%.
- Agua: Cumplirá lo especificado en el Artículo 280 del PG-3.

El tipo y composición de la mezcla cumplirá, en general, que su porcentaje de escoria granulada será del 15% en peso de la mezcla total seca para coeficientes de reactividad bajos, pero superiores a 20, pudiendo descender al 10% con coeficientes de reactividad superiores a 60. Además, para que se desarrollen los procesos de fraguado y endurecimiento es necesaria la incorporación de un 1% en peso de la mezcla total seca, de cal.

La ejecución de la mezcla no deberá iniciarse hasta que no se haya estudiado y aprobado su correspondiente fórmula de trabajo. Dicha fórmula señalará:

- Las granulometrías de los áridos y de la escoria por los cedazos y tamices 25, 20, 10, 5, 2.5, 1.25, 0,4, 0.16 y 0.080 UNE.

- La proporción de escoria granulada.
- La proporción de cal.
- El contenido de agua.
- El valor mínimo de la densidad a obtener.

Durante el transcurso de la obra el Director podrá corregir la fórmula de trabajo con objeto de mejorar la calidad de la grava-escoria, justificándolo debidamente mediante un nuevo estudio y los ensayos oportunos.

El método de puesta en obra de la grava-escoria será el siguiente:

- Una vez comprobada la superficie de asiento de la capa de grava-escoria e inmediatamente antes de la extensión de la misma se regará dicha superficie, de forma que quede húmeda, pero no encharcada.

- La extensión de la mezcla se efectuará antes de transcurridas 24h a partir del momento de la fabricación. El vertido y la extensión se realizarán tomando las precauciones necesarias para evitar segregaciones y contaminaciones.

- La extensión se realizará en capas de espesor tal que, una vez compactadas, quede comprendido entre 15 y 25 cm.

- Por otro lado, la extensión se puede realizar con motoniveladora, aunque siempre es preferible el empleo de extendedoras.

- La grava-escoria se ejecutará cuando la temperatura ambiente sea superior a los 5°C, no obstante, si la temperatura ambiente tiene tendencia a aumentar, podrá fijarse la temperatura límite en 2°C.

- Se compactará en una sola tongada, alcanzando densidades del 100% de la densidad máxima Proctor Modificado. El Director podrá ordenar la ejecución de un riego de curado cuando las circunstancias de la obra lo aconsejen; en este caso el riego se realizará una vez finalizada la compactación.

7.3.8 Hormigón magro

Las características y especificaciones técnicas de este tipo de material, vienen incluidas en el artículo 551, Hormigón Magro Vibrado, del PG-3. Dicho artículo se incorpora al Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes mediante Orden FOM/891/2004, de 1 de marzo, por la que se actualizan e incorporan determinados artículos de dicho pliego, relativos a firmes y pavimentos.

Se define como hormigón magro vibrado la mezcla homogénea de áridos, cemento, agua y aditivos, empleada en capas de base, que se pone en obra con una consistencia tal que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación.

El cemento que se usará como ligante cumplirá las prescripciones del artículo 202 del PG-3, el cual a su vez se apoya en la "Instrucción para la recepción de cementos RC-08". La clase resistente del cemento a emplear será, salvo justificación en contrario, la 32,5N o la 42,5N. El principio de fraguado, según la UNE-EN 196-3, no podrá tener lugar antes de las dos horas.

Los áridos no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras u otras capas del firme, o contaminar el suelo o corrientes de agua.

En lo que se refiere al árido grueso (parte del árido total retenida en el tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2):

- El tamaño máximo del árido grueso no será superior a 40 mm. Se suministrará, como mínimo, en 2 fracciones granulométricas diferenciadas.
- El coeficiente de Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2, deberá ser inferior a 35.
- El índice de lascas, según la UNE-EN 933-3, deberá ser inferior a 35.

En lo que se refiere al árido fino (parte del árido total cernida por el tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2):

- El árido fino será arena natural rodada. En algunos casos se podrá permitir que el árido fino tenga una proporción determinada de arena de machaqueo.
- El valor del equivalente de arena del árido fino, según la UNE-EN 933-8, no será inferior a 75, ni a 80 en zonas sometidas a heladas.
- La curva granulométrica del árido fino, según la UNE-EN 933-1, estará comprendida dentro de los límites que se señalan en la tabla 7.7:

TABLA 7.7 GRANULOMETRÍA DEL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN MAGRO

HUSO GRANULOMÉTRICO DEL ÁRIDO FINO CERNIDO ACUMULADO (% en masa) ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)							
	4	2	1	0,5	0,250	0,125	0,063
	81-100	58-85	39-68	21-46	7-22	1-8	0-6

Fuente: PG-3

La resistencia media a compresión simple a veintiocho días del hormigón magro vibrado, referida a probetas cilíndricas, de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, fabricadas y conservadas según la UNE 83301 y ensayadas según la UNE 83304, deberá estar comprendida entre 15 y 22 MPa.

Si se mide la consistencia según la UNE 83313, el asiento deberá estar comprendido entre 2 y 6 cm. La masa unitaria del total de partículas cernidas por el tamiz 0,125 mm de la UNE-EN 933-2, incluyendo el cemento, no será inferior 250 kg/m³ de hormigón magro. La dosificación de cemento no será inferior a 140 kg/m³ de hormigón fresco y la relación ponderal de agua/cemento no será superior a 1,15.

Para la puesta en obra del hormigón se hará uso de una pavimentadora, la cual deberá poder compactar adecuadamente el hormigón fresco en toda la anchura del pavimento, mediante vibración interna.

En época seca y calurosa, y siempre que sea previsible una pérdida de humedad del hormigón magro, será conveniente que la superficie de apoyo se riegue ligeramente con agua, inmediatamente antes de la extensión, de forma que ésta quede húmeda, pero no encharcada, eliminándose las acumulaciones que hubieran podido formarse.

La rasante de la superficie acabada no deberá quedar por debajo de la teórica, en más de diez milímetros (10 mm), ni rebasar a ésta en ningún punto

El transporte del hormigón magro podrá realizarse en camiones hormigonera o en camiones de caja lisa y estanca. La descarga del hormigón, transportado en camiones sin elementos de agitación, deberá realizarse antes de que haya transcurrido un período máximo de 45 minutos, a partir de la introducción del cemento y de los áridos en el mezclador. Se podrá aumentar este plazo si se utilizan retardadores de fraguado, o disminuirlo si las condiciones atmosféricas originan un rápido endurecimiento del hormigón.

No deberá transcurrir más de 1h entre la fabricación del hormigón y su terminación. Se podrá aumentar este plazo hasta un máximo de 2h, si se emplean cementos cuyo principio de fraguado no tenga lugar antes de 2h 30min, si se adoptan precauciones para retrasar el fraguado del hormigón o si las condiciones de humedad y temperatura son favorables. En ningún caso se colocarán en obra amasadas que acusen un principio de fraguado, o que presenten segregación o desecación.

Si se interrumpe la puesta en obra por más de media hora, se cubrirá el frente de hormigonado de forma que se impida la evaporación del agua. Si el plazo de interrupción fuera superior al máximo admitido entre la fabricación y la puesta en obra del hormigón, se dispondrá una junta de hormigonado transversal,

En tiempo caluroso se extremarán las precauciones, a fin de evitar desecaciones superficiales y fisuraciones. Apenas la temperatura ambiente rebase los 30°C, se controlará constantemente la temperatura del hormigón, la cual no deberá rebasar en ningún momento los 35°C. La temperatura de la masa de hormigón magro, durante su puesta en obra, no será inferior a 5°C y se prohibirá la puesta en obra del hormigón magro sobre una superficie cuya temperatura sea inferior a 0°C.

7.3.9 Pavimentos de hormigón vibrado

Las características y especificaciones técnicas de este tipo de material, vienen incluidas en el artículo 550, Pavimentos de Hormigón, del PG-3. Dicho artículo se incorpora al Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes

mediante Orden FOM/891/2004, de 1 de marzo, por la que se actualizan e incorporan determinados artículos de dicho pliego, relativos a firmes y pavimentos.

Se define como pavimento de hormigón vibrado el constituido por un conjunto de losas de hormigón en masa separadas por juntas, tanto transversales como longitudinales. El hormigón se pone en obra con una consistencia tal, que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación y maquinaria específica para su extensión y acabado superficial.

La ejecución del pavimento de hormigón incluye las siguientes operaciones:

- Preparación de la superficie de asiento.
- Fabricación del hormigón.
- Transporte del hormigón.
- Colocación de elementos de guía y acondicionamiento de los caminos de rodadura para la pavimentadora y los equipos de acabado superficial.
- Colocación de los elementos de las juntas.
- Puesta en obra del hormigón.
- Ejecución de juntas en fresco.
- Terminación.
- Protección y curado del hormigón fresco.
- Ejecución de juntas serradas.
- Sellado de las juntas.

La clase resistente del cemento a emplear será, salvo justificación en contrario, la 32,5 N. El cemento que se usará como ligante cumplirá las prescripciones del artículo 202 del PG-3, el cual a su vez se apoya en la "Instrucción para la recepción de cementos RC-08". No se emplearán cementos de aluminato de calcio, ni mezclas de cemento con adiciones que no hayan sido realizadas en fábrica. El principio de fraguado, según la UNE-EN 196-3, no podrá tener lugar antes de las 2 horas.

Los áridos no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración física o química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a

disoluciones que puedan causar daños a estructuras u otras capas del firme, o contaminar el suelo o las corrientes de agua.

Se define como árido grueso a la parte del árido total retenida en el tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2, cuyas características serán las siguientes:

- El tamaño máximo del árido grueso no será superior a 40 mm. Se suministrará, como mínimo, en dos fracciones granulométricas diferenciadas.
- El coeficiente de Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2, deberá ser inferior a 35.
- En los casos en los que la obtención de la textura superficial se realice con denudación química, y se prevea además una incrustación de gravilla en la superficie del hormigón fresco, combinada con la denudación, el tamaño de la gravilla incrustada estará comprendido entre 4 y 8 mm, su coeficiente de Los Ángeles, según la UNE-EN-1097-2 no será superior a 20 y su coeficiente de pulimento acelerado, según el anexo D de la UNE 146130, no será inferior a 0,50.
- Si se denuda el hormigón sin incrustación de gravilla, el árido grueso del hormigón deberá tener también como mínimo el coeficiente de pulimento acelerado no inferior a 0,50.
- El índice de lajas, según la UNE-EN 933-3, deberá ser inferior a 35.

Se define como árido fino a la parte del árido total cernida por el tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2, cuyas características generales serán:

- El árido fino será, en general, una arena natural rodada. Se podrá permitir que el árido fino tenga una proporción determinada de arena de machaqueo.
- La proporción de partículas silíceas del árido fino, según la NLT-371, del hormigón de la capa superior, o de todo el pavimento si éste se construyera en una sola capa y sin denudado, no será inferior al 35%, y procedente de un árido grueso cuyo coeficiente de pulimento acelerado, sea superior a 0,50. En cualquier caso, la proporción de partículas silíceas, según la NLT-371, no será inferior al 30% y procedente de un árido grueso cuyo coeficiente de pulimento acelerado no sea inferior a 0,45.
- El valor del equivalente de arena del árido fino, según la UNE-EN 933-8, no será inferior a 75, ni a 80 en zonas sometidas a heladas.
- La curva granulométrica del árido fino, según la UNE-EN 933-1, estará comprendida dentro de los límites que se señalan a continuación:

TABLA 7.8 GRANULOMETRÍA DEL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN VIBRADO

HUSO GRANULOMÉTRICO DEL ÁRIDO FINO CERNIDO ACUMULADO (% en masa) ABERTURA DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)							
	4	2	1	0,5	0,250	0,125	0,063
	81-100	58-85	39-68	21-46	7-22	1-8	0-4

Fuente: PG-3

Se permitirá el uso de aditivos que puedan utilizarse para obtener la trabajabilidad adecuada o mejorar las características de la mezcla, de acuerdo con las condiciones de ejecución, las características de la obra y las condiciones climáticas. Los eventuales aditivos del hormigón cumplirán las condiciones establecidas en las normas siguientes:

- UNE 83281: Reductores de agua y fluidificantes.
- UNE 83282: Reductores de agua de alta actividad (superplastificantes).
- UNE 83283: Aceleradores de fraguado.
- UNE 83286: Incluidores de aire.

El empleo de cualquiera de ellos debe ser aprobado por el Director de las obras. Si se emplearan superplastificantes para mejorar las resistencias alcanzadas, se limitará su dosis a 0,4 kg/m³.

Se hará uso de membranas para la separación de la base o para el curado del pavimento.

La resistencia característica a flexotracción a veintiocho días para los diferentes tipos de hormigón, referida a probetas prismáticas de sección cuadrada, de 15 cm de lado y 60 cm de longitud, fabricadas y conservadas en obra según la UNE 83301, admitiéndose su compactación con mesa vibrante, ensayadas según la UNE 83305, será:

HF-4,5	4,5 MPa
HF-4,0	4,0 MPa
HF-3,5	3,5 MPa

La resistencia característica a flexotracción del hormigón a veintiocho días se define como el valor de la resistencia asociado a un nivel de confianza del 95%.

Si se mide la consistencia del hormigón según la UNE 83313, el asiento deberá estar comprendido entre 2 y 6 cm. La masa unitaria del total de partículas cernidas por el tamiz 0,125 mm de la UNE-EN 933-2, incluyendo el cemento, no será mayor de 450 kg/m^3 de hormigón fresco. La dosificación de cemento no será inferior a 300 kg/m^3 de hormigón fresco y la relación ponderal agua/cemento no será superior a 0,46.

La proporción de aire ocluido en el hormigón fresco vertido en obra, según la UNE 83315, no será superior al 6% en volumen. En zonas sometidas a nevadas o heladas será obligatoria la utilización de un inclusor de aire. En este caso, la proporción de aire ocluido en el hormigón fresco no será inferior al 4,5% en volumen.

El transporte del hormigón fresco, desde la central de fabricación hasta el equipo de extensión, se realizará con camiones sin elementos de agitación, de forma que se impida toda segregación, exudación, evaporación de agua o intrusión de cuerpos extraños en aquél. Estos camiones deberán siempre estar provistos de una lona o cobertor para proteger el hormigón fresco durante su transporte evitando la excesiva evaporación del agua o la intrusión de elementos extraños.

El equipo de puesta en obra del hormigón estará integrado como mínimo por las siguientes máquinas:

* Un equipo para el reparto previo del hormigón fresco, con un espesor uniforme y a toda la anchura de pavimentación. Se empleará una extendedora y algunos casos el Director de las Obras podrá autorizar el empleo de una pala mecánica de cazo ancho.

* Una pavimentadora de encofrados deslizantes por cada capa de construcción, capaz de extender, vibrar y enrasar uniformemente el hormigón fresco. La que se emplee en la capa superior deberá realizar, además, un fratasado de forma que se obtenga mecánicamente una terminación regular y homogénea, que no necesite retoques manuales. La pavimentadora estará dotada de encofrados móviles de dimensiones, forma y resistencia suficientes para sostener el hormigón lateralmente durante el tiempo necesario para obtener la sección transversal prevista, sin asiento del borde de la losa.

Se comprobará la regularidad superficial y el estado de la superficie sobre la que vaya a extenderse el hormigón. Antes de la puesta en obra del hormigón, si la superficie de apoyo fuera de hormigón magro, se colocará una lámina de material plástico como separación entre ambas capas. Las láminas de plástico se colocarán con solapes no inferiores a 15 cm. El solape tendrá en cuenta la pendiente longitudinal y transversal, para asegurar la impermeabilidad.

Se prohibirá circular sobre la superficie preparada, salvo al personal y equipos que sean imprescindibles para la ejecución del pavimento.

En época seca y calurosa, y siempre que sea previsible una pérdida de humedad del hormigón, se podrá exigir que la superficie de apoyo se riegue ligeramente con agua, inmediatamente antes de la extensión, de forma que ésta quede húmeda pero no encharcada, eliminándose las acumulaciones que hubieran podido formarse.

Se prohibirá el riego con agua o la extensión de mortero sobre la superficie del hormigón fresco para facilitar su acabado. Donde fuera necesario aportar material para corregir una zona baja, se empleará hormigón aún no extendido. En todo caso, se eliminará la lechada de la superficie del hormigón fresco.

En aquellos lugares que, por su forma o por su ubicación, no sea posible el empleo de máquinas, la superficie del hormigón se alisará y nivelará con fratases de longitud no inferior a 4 m y una anchura no inferior a 10 cm, rigidizados con costillas y dotados de un mango suficientemente largo para ser manejados desde zonas adyacentes a la de extensión. Terminadas las operaciones de fratasado y mientras el hormigón esté todavía fresco, se redondearán cuidadosamente los bordes de las losas con una llana curva de 12 mm de radio.

El pavimento de hormigón vendrá dotado de una textura superficial que facilite el rodamiento de la maquinaria del puerto y que evite problemas de deslizamiento. Dicha textura podrá consistir en un estriado o ranurado longitudinal en la dirección de la marcha principal de los vehículos.

La textura superficial por estriado se obtendrá por la aplicación manual o mecánica de un cepillo con púas de plástico, alambre, u otro material que produzca estrías sensiblemente paralelas o perpendiculares al eje principal de la explanada. La textura superficial por ranurado se obtendrá mediante un peine con varillas de plástico, acero, u otro material o dispositivo, que produzca ranuras relativamente paralelas entre sí.

En algunos casos se podrá autorizar la sustitución de las texturas por estriado o ranurado por una denudación química de la superficie del hormigón fresco, obtenida mediante la aplicación de un retardador de fraguado y la posterior eliminación por barrido con agua del mortero no fraguado. La aplicación del retardador de fraguado tendrá lugar antes de transcurridos quince minutos de la puesta en obra, extendiendo a continuación una membrana impermeable, que se mantendrá hasta la eliminación del mortero. Esta operación se realizará antes de transcurridas veinticuatro horas, salvo que el fraguado insuficiente del hormigón requiera alargar este período.

También se podrá permitir la incrustación de gravilla en la superficie del hormigón fresco combinada con la denudación. En ese caso la gravilla deberá tener una dotación de 5 kg/m².

Durante el primer período de endurecimiento, se protegerá el hormigón fresco contra el lavado por lluvia, contra la desecación rápida, especialmente en condiciones de baja humedad relativa del aire, fuerte insolación o viento y contra enfriamientos bruscos o congelación.

Durante un período que no será inferior a tres días a partir de la puesta en obra del hormigón, estará prohibido todo tipo de circulación sobre el pavimento recién ejecutado, con excepción de la imprescindible para aserrar juntas y comprobar la regularidad superficial.

CURADO DEL HORMIGÓN

- El hormigón se curará con un producto filmógeno durante el plazo marcado en obra. Deberán someterse a curado todas las superficies expuestas de la losa, incluidos sus bordes, apenas queden libres.

- El producto filmógeno, se aplicará apenas hubieran concluido las operaciones de acabado y no quedase agua libre en la superficie del pavimento. El producto de curado será aplicado, en toda la superficie del pavimento, por medios mecánicos que aseguren una pulverización del producto en un rocío fino, de forma continua y uniforme, con una dotación que no podrá ser inferior a 250 g/m². Se volverá a aplicar producto de curado sobre los labios de las juntas recién serradas y sobre las zonas mal cubiertas o donde, por cualquier circunstancia, la película formada se haya estropeado durante el período de curado.

- En condiciones ambientales adversas de baja humedad relativa, altas temperaturas, fuertes vientos o lluvia, el Director de las Obras podrá exigir que el producto de curado se aplique antes y con mayor dotación.

- Durante el período de curado, el hormigón deberá protegerse contra la acción de la helada o de un enfriamiento rápido. En el caso de que se tema una posible helada, se protegerá con una membrana de plástico lastrada contra el viento, hasta el día siguiente a su puesta en obra. Si fuera probable el enfriamiento brusco de un hormigón sometido a elevadas temperaturas diurnas, en más de 15°C entre el día y la noche, se deberá proteger el pavimento en la forma indicada en el párrafo anterior, o se anticipará el aserrado de las juntas, tanto transversales como longitudinales, para evitar la fisuración del pavimento.

La rasante de la superficie acabada de pavimento, no deberá quedar por debajo de la teórica, en más de 10 mm, ni rebasar a ésta en ningún punto. El espesor del pavimento no podrá ser inferior, en ningún punto, al previsto. La superficie de la capa deberá presentar una textura uniforme y exenta de segregaciones.

La descarga del hormigón transportado deberá realizarse antes de que haya transcurrido un período máximo de 45 minutos, a partir de la introducción del cemento y de los áridos en el mezclador. Se podrá aumentar este plazo si se utilizan retardadores de fraguado, o disminuirlo si las condiciones atmosféricas originan un rápido endurecimiento del hormigón.

No deberá transcurrir más de 1h entre la fabricación del hormigón y su terminación. El Director de las Obras podrá aumentar este plazo hasta un máximo de dos horas, si se

emplean cementos cuyo principio de fraguado no tenga lugar antes de dos horas y treinta minutos, si se adoptan precauciones para retrasar el fraguado del hormigón o si las condiciones de humedad y temperatura son favorables. En ningún caso se colocarán en obra amasadas que acusen un principio de fraguado, o que presenten segregación o desecación.

Si se hormigona en dos capas, se extenderá la segunda lo más rápidamente posible, antes de que comience el fraguado del hormigón de la primera. En cualquier caso, entre la puesta en obra de ambas capas no deberá transcurrir más de una hora.

Si se interrumpe la puesta en obra por más de media hora se cubrirá el frente de hormigonado de forma que se impida la evaporación del agua. Si el plazo de interrupción fuera superior al máximo admitido entre la fabricación y puesta en obra del hormigón, se dispondrá una junta de hormigonado transversal, según lo indicado en párrafos posteriores.

Apenas la temperatura ambiente rebase los veinticinco grados Celsius (25°C), se controlará constantemente la temperatura del hormigón, la cual no deberá rebasar en ningún momento los treinta grados Celsius (30°C). La temperatura de la masa de hormigón, durante su puesta en obra, no será inferior a cinco grados Celsius (5°C) y se prohibirá la puesta en obra del hormigón sobre una superficie cuya temperatura sea inferior a cero grados Celsius (0°C).

El tráfico de obra no podrá circular sobre el pavimento hasta que éste no haya alcanzado una resistencia a flexotracción del 80% de la exigida a veintiocho días. Todas las juntas que no hayan sido obturadas provisionalmente con un cordón deberán sellarse lo más rápidamente posible. La apertura a la circulación no podrá realizarse antes de siete días de la terminación del pavimento.

JUNTAS LONGITUDINALES

Se dispondrán juntas de hormigonado longitudinales en los pavimentos de hormigón. Dichas juntas vendrán dispuestas a una cierta distancia, determinada por la

pavimentadora de encofrados deslizantes, y será como máximo de cinco metros.

En el caso de existir zonas en las que la anchura de hormigonado sea superior a cinco metros se proyectarán juntas longitudinales de alabeo, dividiendo el pavimento en franjas aproximadamente iguales, procurando que coincidan sensiblemente con las separaciones entre los carriles de circulación y evitando que lo hagan con las zonas de rodadura del tráfico. Se ejecutarán por aserrado, con una profundidad de corte no inferior al tercio (1/3) del espesor de la losa.

Las juntas longitudinales de alabeo se podrán serrar en cualquier momento después de transcurridas veinticuatro horas, y antes de las setenta y dos horas desde la terminación del pavimento, siempre que se asegure que no habrá circulación alguna, ni siquiera la de obra, hasta que se haya hecho esta operación. No obstante, cuando se espere un descenso de la temperatura ambiente de más de 15°C entre el día y la noche, las juntas longitudinales de alabeo se serrarán al mismo tiempo que las transversales, es decir, antes de veinticuatro horas desde la terminación del pavimento.

En el caso general, el hormigonado se realizará por franjas longitudinales. Es por ello que se proyectarán juntas de hormigonado, procurando que la distancia entre juntas sea la misma en todos los casos, evitando que sea mayor a cinco metros y evitando también que coincidan con las zonas de rodadura del tráfico.

Las juntas longitudinales de hormigonado se podrán realizar mediante la inserción en el hormigón fresco de una tira continua de material plástico. Se permitirán empalmes en dicha tira siempre que se mantenga la continuidad del material de la junta.

En la junta longitudinal de hormigonado entre una franja y otra ya construida, antes de hormigonar aquélla se aplicará al canto de ésta un producto que evite la adherencia del hormigón nuevo al antiguo. Se prestará la mayor atención y cuidado a que el hormigón que se coloque a lo largo de esta junta sea homogéneo y quede perfectamente compactado. Si se observan desperfectos en el borde construido, se corregirán antes de aplicar el producto antiadherente.

En ambos casos se proyectarán perpendicularmente a la junta longitudinal (de hormigonado y de alabeo), barras corrugadas de unión de 12 mm de diámetro, 80 cm de

longitud y espaciadas 1 m. Se dispondrán a la mitad del espesor de la losa y simétricas respecto de la junta.

En el proyecto de las juntas longitudinales, tanto de alabeo como de hormigonado, se especificará su sellado según los siguientes procedimientos:

- * Practicando un cajeadado en el que se introducirá un cordón sintético, sobre el que se colocará un producto específico de sellado.

- * Mediante un perfil elastomérico, introducido a presión.

JUNTAS TRANSVERSALES

Las juntas transversales que se proyecten en los pavimentos de hormigón podrán ser de contracción, de hormigonado o de dilatación.

Las juntas transversales de contracción se realizarán por aserrado, con una anchura de corte no superior a 4 mm, y profundidad no inferior al cuarto del espesor de la losa. Las juntas transversales de contracción se proyectarán provistas de pasadores (a la mitad del espesor de la losa, perpendiculares y simétricos respecto a la junta) de acero a una separación en planta de 50 cm. Estas juntas se dispondrán perpendiculares al eje de las franjas longitudinales de hormigonado e irán separadas entre sí una longitud comprendida entre 4 y 5 m.

En algunos casos, con cargas de tráfico poco importantes, se podrán proyectar juntas transversales de contracción sin pasadores a una distancia no superior a 4 m, la cual se reducirá hasta los 3,5 m en las zonas donde las oscilaciones diarias de la temperatura ambiente sean superiores a 20°C. Estas juntas transversales de contracción sin pasadores, salvo justificación en contrario, se proyectarán sesgadas, con una inclinación respecto al eje de la dirección de circulación principal de 6:1.

En juntas transversales de contracción, el hormigón endurecido se serrará de forma y en instantes tales, que el borde de la ranura sea limpio y no se hayan producido anteriormente grietas de retracción en su superficie. En todo caso el serrado tendrá lugar antes de transcurridas veinticuatro horas desde la puesta en obra.

Las juntas transversales de hormigonado, que se harán coincidir con el emplazamiento de una junta de contracción, irán siempre provistas de pasadores, siendo por ello perpendiculares al eje de las franjas longitudinales de hormigonado. Los pasadores se dispondrán al final de la jornada, o donde se hubiera producido por cualquier causa una interrupción en el hormigonado que hiciera temer un comienzo de fraguado.

Siempre que sea posible se harán coincidir estas juntas con una de contracción o de dilatación, modificando si fuera preciso la situación de aquéllas; de no ser así, se dispondrán a más de 1,5 m de distancia de la junta más próxima.

Se proyectarán juntas transversales de dilatación ante estructuras o donde pudiera estar especialmente impedido el movimiento de las losas del pavimento. En estos casos en la fase de proyecto se estudiará el diseño específico de dichas juntas.

En las curvas con radio inferior a 200 m será precisa la realización de un estudio especial sobre la disposición de juntas transversales de contracción o de dilatación, con el fin de limitar las posibles tensiones que pudieran producirse por el efecto de las temperaturas. A falta de dicho estudio, en la mayoría de los casos podrá ser suficiente con la disposición de juntas de dilatación al comienzo y al final de la curva, manteniendo la longitud de las losas adoptada para el conjunto de la obra.

Respecto al sellado de las juntas transversales, tanto de contracción como de hormigonado, vendrán selladas de la misma forma que las juntas longitudinales.

OPERACIONES PARA EJECUCIÓN Y TERMINACIÓN DE JUNTAS

Si el sellado de las juntas lo requiere, y con la aprobación del Director de las Obras, el serrado se podrá realizar en dos fases: la primera hasta la profundidad definida en los planos, y practicando, en la segunda, un ensanche en la parte superior de la ranura para poder introducir el producto de sellado.

Si a causa de un serrado prematuro se astillaran los labios de las juntas, se repararán con un mortero de resina epoxi aprobado por el Director de las Obras.

Hasta el sellado de las juntas, o hasta la apertura del pavimento a la circulación si no se fueran a sellar, aquéllas se obturarán provisionalmente con cordeles u otros elementos similares, de forma que se evite la introducción de cuerpos extraños en ellas. El sellado de las juntas implicará las siguientes actividades:

- Terminado el período de curado del hormigón y si está previsto el sellado de las juntas, se limpiarán enérgica y cuidadosamente el fondo y los labios de la ranura, utilizando para ello un cepillo giratorio de púas metálicas, discos de diamante u otro procedimiento que no produzca daños en la junta, y dando una pasada final con aire comprimido. Finalizada esta operación, se imprimirán los labios con un producto adecuado, si el tipo de material de sellado lo requiere.
- Posteriormente se colocará el material de sellado previsto.
- Se cuidará especialmente la limpieza de la operación, y se recogerá cualquier sobrante de material. El material de sellado deberá quedar conforme a los Planos.

Los materiales de relleno en juntas de dilatación deberán cumplir las exigencias de la UNE 41107. Su espesor estará comprendido entre 15 a 18 mm.

Como materiales para la formación de juntas en fresco se podrán utilizar materiales rígidos que no absorban agua o tiras de plástico con un espesor mínimo de 0,35 mm.

El material utilizado para sellado de juntas deberá ser suficientemente resistente a los agentes exteriores y capaz de asegurar la estanqueidad de las juntas sin despegarse de los bordes de las losas. En cualquier caso, estos materiales deberán ser productos sancionados por la práctica y aceptados. No se podrán emplear productos que no garanticen sus propiedades iniciales al menos durante 7 años.

Los pasadores estarán constituidos por barras lisas de acero, de 25 mm de diámetro y 50 cm de longitud, que cumplirán lo establecido en la UNE 36541. El acero será del tipo S-275-JR, definido en la UNE-EN 10025. Los pasadores estarán recubiertos en toda su longitud con un producto que evite su adherencia al hormigón. Su superficie será lisa y no presentará irregularidades ni rebabas, para lo que sus extremos se cortarán con sierra y no con cizalla. En las juntas de dilatación, uno de sus extremos se protegerá con una caperuza de longitud comprendida entre cincuenta y cien milímetros (50 a 100 mm),

rellena de un material compresible que permita un desplazamiento horizontal igual o superior al del material de relleno de la propia junta.

7.3.10 Pavimentos continuos de hormigón armado

Las características y especificaciones técnicas de este tipo de material, vienen incluidas en el artículo 550, Pavimentos de Hormigón, del PG-3. Dicho artículo se incorpora al Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes mediante Orden FOM/891/2004, de 1 de marzo, por la que se actualizan e incorporan determinados artículos de dicho pliego, relativos a firmes y pavimentos.

Salvo en lo que se refiere a la no necesidad de creación de juntas de contracción transversales, se satisfarán todas las especificaciones dadas para los pavimentos de hormigón vibrado (apartado 7.3.8).

Las barras para pavimento continuo de hormigón armado, serán de acero B 500 S o B 500 SD y deberán cumplir las exigencias del artículo 240 del PG-3. El diámetro nominal mínimo de estas barras será de 20 mm en pavimentos con 22 cm o más de espesor, y de 16 mm para espesores inferiores a dicho valor. Cuando las barras se dispongan previamente al hormigonado, se dispondrá la correspondiente armadura transversal de montaje y las barras se unirán por atado o puntos de soldadura de los solapes. Cuando las barras se coloquen mediante el uso de extendedoras equipadas con trompetas, las uniones a tope se realizarán por soldadura o dispositivos mecánicos (manguitos) y los solapes por soldadura.

Las armaduras se dispondrán en las zonas y en la forma que se indiquen en los planos, paralelas a la superficie del pavimento, limpias de óxido no adherente, aceites, grasas y otras materias que puedan afectar la adherencia del acero con el hormigón. Si fuera preciso, se sujetarán para impedir todo movimiento durante el hormigonado. Cuando se dispongan sobre cunas o soportes, estos deberán soportar una fuerza puntual de 2,5 kN sin deformación visible.

La tolerancia máxima en el espaciamiento entre armaduras longitudinales será de 2 cm.

Si se disponen armaduras transversales, éstas se colocarán por debajo de las longitudinales. El recubrimiento de las armaduras longitudinales no será inferior a 5 cm, ni superior a 7 cm.

Si no se uniesen mediante soldadura a tope, las armaduras longitudinales se solaparán en una longitud mínima de 30 diámetros. El número de solapes en cualquier sección transversal no excederá del 20% del total de armaduras longitudinales contenidas en dicha sección.

Las armaduras se interrumpirán 10 cm a cada lado de las juntas de dilatación.

En pavimentos de hormigón armado continuo se evitará la formación de juntas transversales de hormigonado, empleando un retardador de fraguado. En caso contrario se duplicará la armadura longitudinal hasta una distancia de 1 m a cada lado de la junta y no se hará uso de pasadores.

En juntas longitudinales de hormigonado tampoco se harán uso de barras de unión como en pavimentos de hormigón vibrado, sino que al igual que en juntas transversales, se duplicará la armadura longitudinal hasta una distancia de 1 m a cada lado de la junta.

La cuantía geométrica del pavimento continuo de hormigón armado será del 0,7% para HP-4,5 y del 0,6% para HP-4,0. Asimismo en este tipo de pavimentos se dispondrán anclajes al terreno en las secciones extremas, así como en las secciones especiales que lo requieran.

7.3.11 Pavimentos de hormigón armado con fibras

Se satisfarán en esta unidad de obra todas las especificaciones dadas para los pavimentos de hormigón vibrado (apartado 7.3.9), salvo en lo que se refiere a su consistencia: se emplearán fluidificantes para que antes de incorporar las fibras el asiento en el cono de *Abrams* no sea inferior a 0,012 m.

Las fibras de acero trefilado, con resistencia a la tracción no inferior a 1.200 MPa y sus extremos estarán conformados. Así mismo, las fibras estarán encoladas en peines. El diámetro de las fibras será de 800 μm y su longitud mínima de 0,050 m.

Las fibras se incorporarán a la masa del hormigón en alguna de las fases del amasado con una dotación no inferior en ningún caso a 30 kg/m^3 .

También es posible el empleo de fibras sintéticas estructurales que facilitan la homogénea dispersión de las mismas en el hormigón, armando las estructuras en toda su sección incrementando la resistencia del mismo a la abrasión. Las fibras sintéticas estructurales para poder ser consideradas una alternativa al armado de acero estructural deberán reunir las siguientes características:

- Material: Poliolefina.
- Resistencia a Tracción ≥ 400 MPa.
- Módulo de Elasticidad ≥ 6 GPa.
- $L \geq 48$ mm.

Las fibras evitan la formación y propagación de fisuras preferentes, al distribuir homogéneamente la microfisuración producida, tanto durante el proceso de fraguado como consecuencia de las cargas en servicio. Por ello se incrementa la resistencia a la fisuración, impacto y ataques químicos y confieren al hormigón resistencias residuales a flexotracción y cortante.

7.3.12 Hormigón compactado con rodillo

Son de aplicación las especificaciones contenidas en el anexo 1 de la O.M. de 31 de julio de 1986, por el que se incluye en el PG-3 el artículo 516 Hormigón Compactado. Se debe especificar que conforme se señala en la orden FOM/891/2004 dado que la O.M. de 23-5-89 derogó la O.M. de 31-7-86 se puede entender que dicho artículo está derogado. No obstante, se va a tener en cuenta dicha unidad de obra como pavimento para firmes portuarios, pues su uso está bastante extendido y presenta buenas características. Se han seguido también las Recomendaciones de Proyecto y Construcción de Firmes y Pavimentos, editadas en 2004 por la Junta de Castilla y León.

Se trata de un material fabricado en central, constituido por áridos similares a los empleados en la grava-cemento y un contenido de cemento del orden del 10-14%. A largo plazo, la resistencia a compresión suele ser superior a 35 MPa (a 7 días debería presentar valores superiores a 18 MPa) y el módulo de elasticidad es del orden de 33.000 MPa. Por sus características mecánicas puede soportar, directamente o con un tratamiento superficial, el paso de vehículos pesados. Sin embargo, para tráficos circulando a velocidad elevada es preciso disponer una capa de rodadura bituminosa para mejorar la regularidad superficial, actuando entonces como capa de base.

Con una compactación adecuada, el hormigón compactado desarrolla unas resistencias similares o incluso superiores a las de un hormigón vibrado para pavimentos, puesto que su relación agua/cemento es más reducida (variando normalmente entre 0,37 y 0,42), mientras que los contenidos de cemento (300-330 kg/m³) son similares en ambos casos.

La granulometría de los áridos combinados deberá ser continua, debiendo tenderse, en general, a la utilización de granulometrías con pocos finos. Las características exigidas a estos áridos serán similares a las indicadas en el caso de las zahorras artificiales (apartado 7.3.3). En refuerzos y siempre que se requiera abrir al tráfico inmediatamente, el CBR de la mezcla recién compactada no será inferior a 65.

La granulometría de los áridos combinados deberá ser continua, y junto con la del conglomerante en la proporción establecida deberá quedar incluida dentro del siguiente huso:

TABLA 7.9 GRANULOMETRÍA DEL ÁRIDO PARA SU USO EN HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO

CEDAZOS Y TAMICES UNE	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)
25	-
20	100
16	88-100

10	70-87
5	50-70
2	35-50
0,4	18-30
0,08	10-20

Fuente: PG-3

El cemento que se usará como ligante cumplirá las prescripciones del artículo 202 del PG-3, el cual a su vez se apoya en la "Instrucción para la recepción de cementos RC-03". Los cementos serán, en general, de clase resistente media o baja (< 42,5 MPa a 7 días). Se recomienda el empleo de cementos con un alto contenido en adiciones (tipo III, IV, V o ESP VI-1). Si el contenido ponderal en sulfatos de los áridos (UNE EN 1744-1), expresado en SO₃, fuera superior al 0,4%, aunque sin rebasar nunca el 1,0%, deberá emplearse un cemento resistente a los sulfatos. La dotación de cemento será como mínimo de un 10% sobre la masa seca de los áridos. Se ha de controlar especialmente el plazo de trabajabilidad de la mezcla. El empleo de retardadores de fraguado será obligatorio cuando la temperatura ambiente al extender la mezcla supere los 30°C.

La resistencia a tracción indirecta (UNE 83306) del hormigón compactado no deberá ser inferior a 3,3 MPa a 28 días. En caso de emplearse cementos con alto contenido de adiciones, dicho valor se disminuirá en un 15%.

Si sobre el hormigón compactado se va a disponer una capa de rodadura de mezcla bituminosa, el sistema más recomendable para la formación de las juntas es el de la prefisuración en fresco, creando a distancias reducidas (entre 2 y 4 m) una serie de entallas en el material recién extendido, antes del paso de los rodillos. Existen diferentes equipos para realizar la prefisuración. Por el contrario, si el hormigón compactado se va a dejar sin recubrir o con tratamiento superficial, el método más aconsejable es el de serrado del material endurecido, para no perjudicar la regularidad superficial.

La reducida humedad del hormigón compactado obliga a su curado eficaz. Si sobre el hormigón compactado se va a disponer una capa de rodadura, el método más aconsejable es realizar el curado con una emulsión del tipo EAR-1 o ECR-1, con una dotación mínima de betún residual de 300 g/m². En caso de preverse el paso de tráfico sobre el hormigón compactado, deberá aumentarse la dotación de betún residual hasta 500 g/m² y proteger el

riego mediante la extensión de una arena 2/4 mm, con una dotación comprendida entre 4 y 6 l/m². Por el contrario, cuando el hormigón compactado se vaya a dejar sin recubrir, el sistema más eficaz es la extensión de un producto filmógeno de curado, a base de resinas, con una dotación mínima de 200 g/m². En este caso, el producto de curado al secarse puede soportar el paso del tráfico sin necesidad de ninguna protección adicional.

La fabricación se realizará en centrales de funcionamiento continuo, como las empleadas para la fabricación del suelo-cemento y la grava-cemento, o bien en centrales discontinuas como las empleadas para fabricar hormigones vibrados. En todo caso, dichas centrales estarán dotadas de dispositivos de dosificación ponderal de los componentes.

El transporte se realizará en general en camiones volquetes de caja abierta convenientemente protegida por lonas o cobertores. La extensión se realizará siempre con extendedora. La compactación se llevará a cabo mediante rodillos vibratorios y/o compactadores de neumáticos, comprobando constantemente que se alcanzan las densidades especificadas.

Cuando la puesta en obra se realice por bandas, será preciso garantizar que la extensión de cada banda se ejecute antes de que finalice el plazo de trabajabilidad del hormigón de la banda contigua extendida previamente. Para evitar una desecación excesiva de la superficie, debe procederse a un riego ligero y continuo con agua desde antes de que acabe el proceso de compactación hasta que se aplique el riego de curado.

Acabado el pavimento, y antes de que finalice el período de trabajabilidad del hormigón, se someterá la superficie a algún tipo de tratamiento: arrastre de una arpillera, fratasado, etc.

Si el hormigón compactado se deja sin recubrir o se dispone sólo un tratamiento superficial, pueden no realizarse juntas. En caso de disponerlas, su separación máxima no ha de ser superior a 4 m ni a 20 veces el espesor de la capa

Una vez que el hormigón esté suficientemente endurecido se procederá a la creación de juntas transversales de contracción mediante serrado, de manera que se formen losas de dimensiones aproximadas 5 x 5 m². El número de sierras deberá ser suficiente para seguir el ritmo de hormigonado sin retrasarse, debiendo haber siempre al menos una de reserva. Las juntas no se sellarán.

Sobre esta capa de hormigón compactado con rodillo, se ubicará una capa de mezcla bituminosa de las mismas características que las usadas como capa de rodadura y descritas en el apartado “7.3.14 Mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso”, incluido en este capítulo. El tipo de mezcla a usar y los espesores de capa, de detallan a continuación:

- AC 16 surf S (espesores de capa de 6cm).
- AC 22 surf S MAM (con un espesor entre 7 y 13cm).
- AC22 surf S (espesores de capa de 6cm).

7.3.13 Adoquines prefabricados de hormigón

El hormigón de los adoquines prefabricados tendrá una resistencia característica a compresión simple a los 28 días (determinada sobre probetas cúbicas talladas de la pieza) no inferior a 50 MPa. Dicho hormigón deberá estar fabricado con cemento tipo I-45, áridos con un coeficiente de desgaste Los Ángeles no superior a 20 y arena con un mínimo del 30 % de partículas silíceas.

Las tolerancias geométricas admitidas en los adoquines serán de $\pm 0,002$ m en cualquier dirección en planta y de $\pm 0,003$ m en espesor.

La arena de la capa de nivelación deberá tener un tamaño máximo no superior a 5 mm, con no más de un 15 % de partículas de tamaño superior a 2,5 mm y una proporción de partículas inferiores a 0,08 mm no superior al 5 %. Para el recebo de las juntas se empleará una arena con un tamaño máximo no superior a 2,5 mm y una proporción de partículas inferiores a 0,08 mm no inferior al 15 %.

La capa de nivelación de arena debe dejarse inicialmente 0,015 m por encima de su rasante definitiva. Tras la compactación del adoquinado el espesor de dicha capa de nivelación habrá de ser de 0,03 m.

Tras una primera compactación del adoquinado mediante elementos vibratorios, se procederá a recebar las juntas, tras lo cual se aplicará una segunda compactación. El exceso de arena de recebo se eliminará mediante cepillado.

7.3.14 Mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso

Las características y especificaciones técnicas de este tipo de material, vienen incluidas en el artículo 542, Mezcla Bituminosas en Caliente tipo hormigón bituminoso, del PG3.

Se define como mezcla bituminosa en caliente tipo hormigón bituminoso, la combinación de un ligante hidrocarbonado, áridos (incluido el polvo mineral) con granulometría continua y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los áridos (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la del ambiente.

Se define como mezcla bituminosa en caliente de alto módulo para su empleo en capas de rodadura, intermedias y de base del pavimento, en espesores entre 6 a 13 cm, aquella que, además de todo lo anterior, cumple que el valor de su módulo dinámico a veinte grados Celsius (20° C), según el Anexo C de la UNE-EN 1269726, es superior a 11.000 MPa. Para su fabricación no podrán utilizarse materiales procedentes de fresado de mezclas bituminosas en caliente en proporción superior al diez por ciento (10%) de la masa total de la mezcla.

La ejecución de la mezcla bituminosa en caliente incluye las siguientes operaciones:

- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Fabricación de la mezcla de acuerdo con la fórmula de trabajo.
- Transporte de la mezcla al lugar de empleo.
- Preparación de la superficie que va a recibir la mezcla.
- Extensión y compactación de la mezcla.

El tipo de ligante hidrocarbonado a emplear para la mezcla bituminosa en caliente en capa de rodadura e intermedia será betunes asfálticos del tipo:

-B 40/50 (Denominación tradicional española) – 35/50 (según normativa europea EN 12591).

-BC 35/50 (Denominación tradicional española) (Betún modificado con caucho).

-BM-2 (Denominación tradicional española) -PMB 25/55 -65 (según normativa europea EN 14023).

Para capas de base se hará uso de los siguientes tipos de ligantes hidrocarbonatos:

-B 40/50 (Denominación tradicional española) – 35/50 (según normativa europea EN 12591).

-B 60/70 (Denominación tradicional española) – 50/70 (según normativa europea EN 12591).

-BC 35/50 (Denominación tradicional española) (Betún modificado con caucho).

-BC 50/70 (Denominación tradicional española) (Betún modificado con caucho).

-BM-2 (Denominación tradicional española) -PMB 25/55 -65 (según normativa europea EN 14023).

Se podrán emplear también betunes modificados con caucho que sean equivalentes a los betunes modificados anteriores, siempre que cumplan las especificaciones del artículo 215 del PG-3. En ese caso, a la denominación del betún se añadirá una letra C mayúscula, para indicar que el agente modificador es caucho procedente de neumáticos fuera de uso.

Para mezclas bituminosas en caliente de alto módulo el tipo de ligante hidrocarbonado a emplear será el PMB 10/40-70 (según normativa EN 14023, tradicionalmente se le llama en España BM-1).

Los áridos a emplear en las mezclas bituminosas en caliente podrán ser naturales o artificiales siempre que cumplan las especificaciones recogidas en este apartado.

Podrán emplearse como áridos, el material procedente del reciclado de mezclas bituminosas en caliente en proporciones inferiores al 10% de la masa total de mezcla.

Los áridos no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en la zona de empleo.

Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras u otras capas del firme, o contaminar corrientes de agua.

El árido procedente del reciclado de mezclas bituminosas se obtendrá de la disgregación por fresado o trituración de capas de mezcla bituminosa.

En ningún caso se admitirán áridos procedentes del reciclado de mezclas bituminosas que presenten deformaciones plásticas (roderas). El tamaño máximo de las partículas será de 40 mm de la UNE-EN 933-2.

El árido grueso de la mezcla, definido como la parte del árido total retenida en el tamiz 2 mm de la UNE-EN 933-2), deberá cumplir las siguientes especificaciones:

- La proporción de partículas trituradas del árido grueso según la UNE-EN 933-5, deberá ser del 100%, tanto en rodadura, como en capas intermedias y de base.
- La proporción de partículas redondeadas del árido grueso será del 0% en todas las capas.
- El índice de lajas de las distintas fracciones del árido grueso, según la UNE-EN 933-3, deberá ser menor o igual a 20, o en casos excepcionales para tráfico ligero o bajas intensidades de tráfico pesado, menor o igual a 25. Tanto en rodadura, como en capas intermedias y de base.
- El coeficiente de Los Ángeles del árido grueso, según la UNE-EN 1097-2, deberá ser menor o igual a 20 en capa de rodadura, y menor o igual a 25 en capas intermedias y de base.
- El coeficiente de pulimento acelerado del árido grueso a emplear en capas de rodadura deberá ser superior a 0,45.
- El árido grueso a emplear en capas de rodadura no podrá proceder de la trituración de gravas procedentes de yacimientos granulares
- El árido grueso deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa.
- El contenido de impurezas, según el anexo C de la UNE 146130, del árido grueso deberá ser inferior al 0,5%.
- El contenido de finos del árido grueso, determinado conforme a la UNE-EN 933-1 como el porcentaje que pasa por el tamiz 0,063 mm, será inferior al 0,5%.

Se define como árido fino a la parte del árido total cernida por el tamiz 2 mm y retenida por el tamiz 0,063 mm de la UNE-EN 933-2. Las características del mismo vienen expresadas a continuación:

- El árido fino deberá proceder de la trituración de piedra de cantera o grava natural en su totalidad, o en parte de yacimientos naturales.
- La proporción de árido fino no triturado a emplear en la mezcla será nula.
- El árido fino deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga y otras materias extrañas.
- El material que se triture para obtener árido fino deberá cumplir las condiciones exigidas al árido grueso sobre coeficiente de Los Ángeles.
- Se podrá emplear árido fino de otra naturaleza que mejore alguna característica, en especial la adhesividad, pero en cualquier caso procederá de árido grueso con coeficiente de Los Ángeles inferior a 25 para capas de rodadura e intermedias y a 30 para capas de base.

Se define como polvo mineral a la parte del árido total cernida por el tamiz 0,063 mm de la UNE-EN 933-2. El polvo mineral podrá proceder de los áridos (limitando su porcentaje al 2% de la masa de la mezcla, separándose de ellos por medio de los ciclones de la central de fabricación), o aportarse a la mezcla por separado, usando para ello un producto comercial o especialmente preparado (En casi todos los casos el polvo mineral de aportación será un cemento, salvo autorización previa y expresa de otro tipo por parte del Director de las Obras).

La proporción del polvo mineral de aportación a emplear en la mezcla deberá ser del 100% de la masa del restante polvo mineral (excluido el inevitablemente adherido a los áridos). La densidad aparente del polvo mineral, según la NLT-176, deberá estar comprendida entre 0,5 a 0,8 g/cm³.

La granulometría del polvo mineral, determinada según UNE-EN 933-10, deberá cumplir los valores especificados (Apertura del tamiz, Cernido acumulado):

2 mm	100
0,125 mm	85 a 100
0,063 mm	70 a 100

Si el árido fino procediese, en todo o en parte, de areneros naturales, la proporción máxima de arena natural en la mezcla (porcentaje en masa del total de áridos, incluido el polvo mineral) no habrá de ser superior al 15 %.

El tipo de mezcla bituminosa en caliente a emplear en función del tipo y del espesor de la capa del firme, se define a continuación:

- Capa de rodadura: AC 16 surf S (entre 4 y 5cm), AC 22 surf S MAM (con un espesor entre 7 y 13cm) y AC22 surf S (espesores mayores a los 5cm).
- Capa intermedia (en espesores de 5 a 10cm): AC 22 bin S, AC 32 bin S y AC 22 bin S MAM (con un espesor entre 6 y 10cm).
- Capa de base (en espesores entre 7 y 15cm): AC 32 base S, AC 32 base G, AC 22 base G, AC 22 base S MAM (con un espesor entre 7 y 13cm).

La designación de las mezclas bituminosas seguirá el esquema siguiente:

AC D surf/bin/base granulometría

donde:

- AC indica que la mezcla es de tipo hormigón bituminoso.
- D es el tamaño máximo del árido, expresado como la abertura del tamiz que deja pasar entre un 95% del total del árido.
- surf/bin/base indica si la mezcla se va a emplear en capa de rodadura, intermedia o base, respectivamente.
- granulometría se indicará con la letra D, S o G si el tipo de granulometría corresponde a una mezcla densa (D), semidensa (S) o gruesa (G) respectivamente. En el caso de mezclas de alto módulo se añadirán además las letras MAM.

Las curvas granulométricas exigidas serán las siguientes:

TABLA 7.10 CURVAS GRANULOMÉTRICAS EXIGIDAS

Tamices UNE-EN 933-2 (mm)	AC16D	AC22D	AC16S	AC22S	AC32S	AC22G	AC32G	AC22 S MAM
45					100		100	

32		100		100	90-100	100	90-100	100
22	100	90-100	100	90-100		90-100		90-100
16	90-100	73-88	90-100	70-88	68-82	65-86	58-76	70-88
8	64-79	55-70	60-75	50-66	48-63	40-60	35-54	50-66
4	44-59		35-50					
2	31-46	31-46	24-38	24-38	24-38	18-32	18-32	24-38
0,500	16-27	16-27	11-21	11-21	11-21	7-18	7-18	11-21
0,250	11-20	11-20	7-15	7-15	7-15	4-12	4-12	8-15
0,063	4-8	4-8	3-7	3-7	3-7	2-5	2-5	5-9

Fuente: PG-3

La relación ponderal recomendable entre los contenidos de polvo mineral y ligante hidrocarbonato, expresados ambos respecto a la masa total del árido seco (incluido el polvo mineral), será de 1,2 en capas de rodadura, de 1,1 en capas intermedias y de 1,0 en capas de base. En mezclas de alto módulo, esta relación estará entre 1,2 y 1,3.

Se podrán utilizar compactadores de rodillos metálicos, estáticos o vibrantes, de neumáticos o mixtos. La composición mínima del equipo será un compactador vibratorio de rodillos metálicos o mixto, y un compactador de neumáticos. Todos los tipos de compactadores deberán ser autopropulsados, tener inversores de sentido de marcha de acción suave, y estar dotados de dispositivos para la limpieza de sus llantas o neumáticos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario

En ningún caso se introducirá en el mezclador árido a una temperatura superior a la del ligante en más de quince grados Celsius (15°C). La temperatura de mezclado con betunes asfálticos se fijará dentro del rango correspondiente a una viscosidad del betún de ciento cincuenta a trescientos centistokes (150-300 cSt). Además, en el caso de betunes modificados con polímeros en la temperatura de mezclado se tendrá en cuenta el rango recomendado por el fabricante. La temperatura máxima de la mezcla al salir del mezclador no será superior a ciento ochenta grados Celsius (180°C), salvo en centrales de tambor secador-mezclador, en las que no excederá de los ciento sesenta y cinco grados Celsius (165°C). Para mezclas bituminosas de alto módulo dicha temperatura máxima podrá aumentarse en diez grados Celsius (10°C). En todos los casos, la temperatura mínima de la mezcla al salir del mezclador será aprobada por el Director de las Obras de forma que la temperatura de la mezcla en la descarga de los camiones sea superior al mínimo fijado.

La dosificación de ligante hidrocarbonado en la fórmula de trabajo se fijará teniendo en cuenta los materiales disponibles, la experiencia obtenida en casos análogos y, siguiendo los criterios siguientes:

- Contenido de huecos en mezcla:

+ Número de golpes por cara: 75 (En mezclas AC 16 y AC 22. En mezclas AC 32 se compactará la probeta mediante compactación vibratoria, durante un tiempo de 120 segundos por cara).

+ Huecos en mezcla: 4-6 % en capa de rodadura y en capa intermedia.
5-8 % en capa de base.
(4-6 % en capa de base para mezclas de alto módulo).

- Resistencia a deformaciones plásticas:

Para la realización de este ensayo, las probetas se prepararán mediante compactador de placa, con el dispositivo de rodillo de acero, con una densidad tal que en mezclas AC 16 y AC 22, sea superior al 98% de la obtenida en probetas cilíndricas preparadas aplicando 75 golpes por cara. En mezclas AC 32, será superior al 98% de la obtenida en probetas preparadas por compactación vibratoria durante un tiempo de 120s por cara.

La pendiente media de deformación en pista en el intervalo de 5.000 a 10.000 ciclos para capa de rodadura, intermedia y base, será de 0,07 mm para 1.000 ciclos de carga. Para mezclas de alto módulo se seguirán los mismos criterios.

- Huecos en árido: ≥ 15 % (En mezclas con tamaño máximo de 16 mm)

≥ 14 % (En mezclas con tamaño máximo de 22 mm o 32 mm)

En mezclas de alto módulo, el valor del módulo dinámico a 20°C no será inferior a 11.000 MPa. Las probetas para la realización del ensayo se prepararán aplicando 75 golpes por cara. En mezclas de alto módulo, realizado el ensayo de resistencia a la fatiga a una temperatura de 20°C, el valor de la deformación para un millón de ciclos no será inferior a 100.

En cualquier circunstancia se comprobará la adhesividad árido-ligante mediante la caracterización de la acción del agua. Para ello, la resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta tras inmersión, realizado a 15°C, según la UNE-EN 12697-12, tendrá un valor mínimo del 80% para capas de base e intermedia, y del 85% para capas de rodadura. En mezclas de tamaño máximo no mayor de veintidós milímetros (22 mm), las probetas para la realización del ensayo se prepararán según la UNE-EN 12697-30 con 50 golpes por cara. Para mezclas con tamaño máximo superior a veintidós milímetros (22 mm), las probetas se preparan mediante compactación con vibración durante un tiempo de 80 ± 5 s por cara, según la UNE-EN 12697-32.

Se podrá mejorar la adhesividad entre el árido y el ligante hidrocarbonado mediante activantes o cualquier otro producto sancionado por la experiencia.

Para capas de rodadura, la fórmula de trabajo de la mezcla bituminosa en caliente deberá asegurar el cumplimiento de las características de la unidad terminada en lo referente a macrotextura superficial y a resistencia al deslizamiento. En apartados siguientes se especifican los valores límite de estos 2 parámetros. Por otro lado, también se dan valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI), el cual regula la regularidad superficial de las diferentes capas que constituyen el pavimento.

Siempre que sean inevitables, se procurará que las juntas de capas superpuestas guarden una separación mínima de 5 m las transversales y 15 cm las longitudinales.

Al extender franjas longitudinales contiguas, si la temperatura de la extendida en primer lugar no fuera superior al mínimo fijado en la fórmula de trabajo para terminar la compactación, el borde de esta franja se cortará verticalmente, dejando al descubierto

una superficie plana y vertical en todo su espesor. Se le aplicará una capa uniforme y ligera de riego de adherencia, según el artículo 531 del PG-3, dejando romper la emulsión suficientemente. A continuación, se calentará la junta y se extenderá la siguiente franja contra ella.

Las juntas transversales en capas de rodadura se compactarán transversalmente, disponiendo los apoyos precisos para los elementos de compactación.

Como limitaciones para la ejecución, comentar que no se permitirá la puesta en obra de mezclas bituminosas en caliente cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a 5°C, salvo si el espesor de la capa a extender fuera muy reducido, inferior a cinco centímetros (5 cm), en cuyo caso el límite será de 8°C. Con viento intenso, después de heladas, o en tableros de estructuras, el Director de las Obras podrá aumentar estos límites, a la vista de los resultados de compactación obtenidos. No se permitirá la puesta en obra de mezclas bituminosas en caliente cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas.

Terminada su compactación, se podrá abrir a la circulación la capa ejecutada, tan pronto como alcance la temperatura ambiente en todo su espesor.

7.4 CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS

7.4.1 Descripción

Las características superficiales de los pavimentos no tienen una relación directa con la resistencia estructural del firme nuevo. Su importancia deriva de la influencia que tienen en la funcionalidad del pavimento. Estas características son en realidad las únicas que interesan a quienes operan en las diversas zonas del puerto, ya que influyen en los costes de explotación y en la seguridad de las operaciones. Entre las características a considerar se pueden citar las siguientes:

- Resistencia a la rodadura.
- Regularidad superficial.
- Consumos debidos al contacto neumático-pavimento.
- Resistencia al deslizamiento.
- Ruido de contacto neumático-pavimento.
- Permeabilidad y drenabilidad.
- Limpieza.
- Resistencia al ataque de aceites y combustibles.

7.4.2 Zonas de operaciones

En estas zonas se cuidará especialmente la regularidad superficial, sobre todo en dirección perpendicular al cantil a fin de no perturbar la escorrentía de las aguas de lluvia. Asimismo, la regularidad superficial puede influir en algún caso en la maquinaria y vehículos que usen la zona de operaciones.

7.4.3 Zonas de almacenamiento de graneles sólidos

Se atenderá en particular en estas zonas a la limpieza, aunque también a las desagregaciones superficiales que pueden producir las palas y cucharas empleadas para la manipulación de los graneles. Asimismo, es necesario que la geometría permita un adecuado drenaje superficial.

7.4.4 Zonas de almacenamiento de mercancía general

Los requerimientos son los mismos que los que se indican a continuación para las zonas de almacenamiento de contenedores.

7.4.5 Zonas de almacenamiento de contenedores

En las zonas por donde se mueven los equipos de circulación no restringida, los giros bruscos producen unos importantísimos esfuerzos horizontales que provocan notables deterioros superficiales en el pavimento. Se trata de una situación en la que hay que considerar de manera integrada el binomio pavimento-equipos de manipulación, pues superficies especialmente resistentes al desgaste pueden producir consumos de neumáticos muy elevados. Asimismo, aunque las velocidades de circulación no son altas, es necesario que las características superficiales no provoquen posibles situaciones con riesgo de hidroplaneo. Todos estos aspectos dependen, en principal medida de la textura del firme y de la regularidad superficial.

También es importante garantizar una regularidad superficial adecuada con objeto de evitar oscilaciones de los vehículos y cargas que pueden producir daños en la maquinaria de manipulación y eventuales caídas de las cargas. En la propia zona de almacenamiento es necesario restringir las irregularidades con el fin de que no se produzcan inclinaciones excesivas de los apilamientos que produzcan dificultades de manipulación y, por tanto, eventuales accidentes.

Finalmente, es necesario considerar los requisitos más exigentes que obligan las nuevas tecnologías de automatización de la explotación.

7.4.6 Zonas de almacenamiento de semirremolques. Terminales *ro-ro*

En las rampas para operaciones *ro-ro* se producen impactos especialmente importantes en los soportes de las uñas de las planchas cuando pasan las cargas por encima. Para evitar una rápida degradación del hormigón cabe recomendar dos procedimientos: en primer lugar, disponer hormigones de muy altas resistencias o con tratamientos superficiales endurecedores que aumenten la resistencia superficial; la otra opción consiste en reforzar

las rampas con perfiles laminados de acero o con planchas de palastro. Asimismo, es necesario cuidar la regularidad superficial en su efecto sobre el drenaje superficial.

7.4.7 Zonas de uso pesquero

En estas zonas, en particular para las lonjas, se establece que las superficies se han de construir de forma que, por su porosidad, ranuras, etc. No constituyan un foco de contaminación donde puedan quedar retenidos los residuos del pescado. En concreto en la Directiva citada se establecen para estas zonas los siguientes requisitos:

- ✓ Tendrán un pavimento impermeable, fácil de limpiar y desinfectar, con fácil drenaje del agua, tanto la que gotea de las cajas como la utilizada para el baldeo.
- ✓ Los sistemas de evacuación de aguas residuales tendrán el dispositivo adecuado para evitar malos olores.
- ✓ Debe ponerse especial atención para que incluso mojados los pavimentos no se hagan deslizantes.
- ✓ En los pavimentos de hormigón se hará un tratamiento de fratasado para eliminar los poros superficiales, así como un tratamiento superficial antipolvo.

7.4.8 Vías de comunicación

En las vías de comunicación, tanto en los viales de acceso como en las vías de maniobra, las características superficiales más importantes, y tanto más cuanto mayor sea la velocidad de circulación, son las mismas que en carreteras. (ver Normativa vigente del Ministerio de Fomento)

7.4.9 Otras zonas

Hay que hacer especial referencia a las zonas complementarias destinadas al estacionamiento, en las cuales las características superficiales más importantes son la limpieza y sobre todo la resistencia al ataque de aceites y combustibles.

7.4.10 Características superficiales de los pavimentos, según tipología

A continuación, se incluyen unas especificaciones mínimas de las características superficiales a satisfacer en las superficies pavimentadas portuarias de acuerdo a su uso.

TABLA 7.11 ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE GRANELES SÓLIDOS PARA USO COMERCIAL

USO COMERCIAL Zonas de Almacenamiento de Graneles Sólidos	VALOR REGULARIDAD SUPERFICIAL (mm de Regla de 3 m)		
	VALOR DE MACROTEXTURA SUPERFICIAL (mm)		
	VALOR MÍNIMO DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (Índice CRT %)		
	Tipo de Zona		
Tipo de Pavimento	ZONA DE OPERACIONES	ZONA DE ALMACENAMIENTO	ZONAS COMPLEMENTARIAS
MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE	<3 mm >0,5mm >45	<6 mm --- ---	<3 mm >1mm >45
PAVIMENTO DE HORMIGÓN	<4 mm >0,5mm >45	<6 mm --- ---	<4 mm >1mm >45
ADOQUÍN PREFABRICADO DE HORMIGÓN	<4 mm --- >45	<8 mm --- ---	<4 mm --- >45

Fuente: Elaboración propia

TABLA 7.12 ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍA GENERAL PARA USO COMERCIAL

USO COMERCIAL Zonas de almacenamiento de Mercancía General	VALOR REGULARIDAD SUPERFICIAL (mm de Regla de 3 m)		
	VALOR DE MACROTEXTURA SUPERFICIAL (mm)		
	VALOR MÍNIMO DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (Índice CRT %)		
	Tipo de Zona		
Tipo de Pavimento	ZONA DE OPERACIONES	ZONA DE ALMACENAMIENTO	ZONAS COMPLEMENTARIAS
MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE	<3 mm >0,7mm >45	<4 mm --- ---	<3 mm >1mm >45
PAVIMENTO DE HORMIGÓN	<4 mm >0,7mm >45	<4 mm --- ---	<4 mm >1mm >45
ADOQUÍN	<4 mm	<6 mm	<4 mm

PREFABRICADO DE HORMIGÓN	--- >45	--- ---	--- >45
--------------------------	------------	------------	------------

Fuente: Elaboración propia

TABLA 7.13 ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES PARA USO COMERCIAL

USO COMERCIAL Zona de almacenamiento de Contenedores	VALOR REGULARIDAD SUPERFICIAL (mm de Regla de 3 m)			
	VALOR DE MACROTEXTURA SUPERFICIAL (mm)			
	VALOR MÍNIMO DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (Índice CRT %)			
	Tipo de Zona			
Tipo de Pavimento	ZONA DE OPERACIONES	ZONA ALMACENAMIENTO		ZONAS COMPLEMENTARIAS
		Hasta 3 alturas	Más de 3 alturas	
MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE	<3 mm >0,7 >45	<6 mm ---- ---	<4 mm ---- ---	<3 mm >1mm >45
PAVIMENTO DE HORMIGÓN	<4 mm 1,5mm>Text>0,7 mm ---	<6 mm ---- ----	<4 mm ---- ----	<4 mm >1mm >45
ADOQUÍN PREFABRICADO DE HORMIGÓN	<4 mm --- >45	<8 mm ---- ----	<6 mm ---- ----	<4 mm --- >45

Fuente: Elaboración propia

TABLA 7.14 ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE GRANELES LÍQUIDOS PARA USO COMERCIAL

USO COMERCIAL Zonas de almacenamiento de Graneles Líquidos	VALOR REGULARIDAD SUPERFICIAL (mm de Regla de 3 m)			
	VALOR DE MACROTEXTURA SUPERFICIAL (mm)			
	VALOR MÍNIMO DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (Índice CRT %)			
	Tipo de Zona			
Tipo de Pavimento	ZONA DE OPERACIONES	ZONA DE ALMACENAMIENTO		ZONAS COMPLEMENTARIAS
MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE	<3 mm >0,7mm >45	<4 mm --- ---	<3 mm >1mm >45	
PAVIMENTO DE HORMIGÓN	<4 mm >0,7mm >45	<4 mm --- ---	<4 mm >1mm >45	
ADOQUÍN	<4 mm	<6 mm	<4 mm	

PREFABRICADO DE HORMIGÓN	--- >45	--- ---	--- >45
--------------------------	------------	------------	------------

Fuente: Elaboración propia

TABLA 7.15 ZONAS DE ALMACENAMIENTO PARA USO INDUSTRIAL

USO INDUSTRIAL	VALOR REGULARIDAD SUPERFICIAL (mm de Regla de 3 m)		
	VALOR DE MACROTEXTURA SUPERFICIAL (mm)		
	VALOR MÍNIMO DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (Índice CRT %)		
	Tipo de Zona		
Tipo de Pavimento	ZONA DE OPERACIONES	ZONA DE ALMACENAMIENTO	ZONAS COMPLEMENTARIAS
MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE	<3 mm >0,7mm >45	<4 mm --- ---	<3 mm >1mm >45
PAVIMENTO DE HORMIGÓN	<4 mm >0,7mm >45	<4 mm --- ---	<4 mm >1mm >45
ADOQUÍN PREFABRICADO DE HORMIGÓN	<4 mm --- >45	<6 mm --- ---	<4 mm --- >45

Fuente: Elaboración propia

TABLA 7.16 ZONAS DE ALMACENAMIENTO PARA USO MILITAR

USO MILITAR	VALOR REGULARIDAD SUPERFICIAL (mm de Regla de 3 m)		
	VALOR DE MACROTEXTURA SUPERFICIAL (mm)		
	VALOR MÍNIMO DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (Índice CRT %)		
	Tipo de Zona		
Tipo de Pavimento	ZONA DE OPERACIONES	ZONA DE ALMACENAMIENTO	ZONAS COMPLEMENTARIAS
MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE	<3 mm >0,7mm >45	<4 mm --- ---	<3 mm >1mm >45
PAVIMENTO DE HORMIGÓN	<4 mm >0,7mm >45	<4 mm --- ---	<4 mm >1mm >45
ADOQUÍN PREFABRICADO DE HORMIGÓN	<4 mm --- >45	<6 mm --- ---	<4 mm --- >45

Fuente: Elaboración propia

TABLA 7.17 ZONAS DE ALMACENAMIENTO PARA USO PESQUERO

USO PESQUERO	VALOR REGULARIDAD SUPERFICIAL (mm de Regla de 3 m)
---------------------	----------------------------------------------------

	VALOR DE MACROTEXTURA SUPERFICIAL (mm)		
	VALOR MÍNIMO DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (Índice CRT %)		
	Tipo de Zona		
Tipo de Pavimento	ZONA DE OPERACIONES	ZONA DE ALMACENAMIENTO	ZONAS COMPLEMENTARIAS
MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE	<3 mm >0,7mm >45	<4 mm --- ---	<3 mm >1mm >45
PAVIMENTO DE HORMIGÓN	<4 mm >0,7mm >45	<4 mm --- ---	<4 mm >1mm >45
ADOQUÍN PREFABRICADO DE HORMIGÓN	<4 mm --- >45	<6 mm --- ---	<4 mm --- >45

Fuente: Elaboración propia

TABLA 7.18 ZONAS DE ALMACENAMIENTO PARA USO DEPORTIVO

USO DEPORTIVO	VALOR REGULARIDAD SUPERFICIAL (mm de Regla de 3 m)		
	VALOR DE MACROTEXTURA SUPERFICIAL (mm)		
	VALOR MÍNIMO DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (Índice CRT %)		
	Tipo de Zona		
Tipo de Pavimento	ZONA DE OPERACIONES	ZONA DE ALMACENAMIENTO	ZONAS COMPLEMENTARIAS
MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE	<3 mm >0,7mm >45	<4 mm --- ---	<3 mm >1mm >45
PAVIMENTO DE HORMIGÓN	<4 mm >0,7mm >45	<4 mm --- ---	<4 mm >1mm >45
ADOQUÍN PREFABRICADO DE HORMIGÓN	<4 mm --- >45	<6 mm --- ---	<4 mm --- >45

Fuente: Elaboración propia

7.5 DRENAJE DE SUPERFICIES PORTUARIAS

7.5.1 Introducción

El objeto del drenaje en una infraestructura es captar, recoger y conducir las aguas superficiales y subterráneas. El diseño de un buen drenaje cobra una gran importancia en las superficies portuarias, ya que estamos hablando de áreas extensas, con pendientes muy reducidas, y cuyos terrenos deben tener la suficiente estabilidad para permitir una adecuada explotación bajo todas las condiciones meteorológicas.

El efecto del agua en las superficies portuarias y el modo de tratar de eliminarla por las redes de drenaje, lo podemos dividir en:

- Aguas superficiales: el efecto más importante es la posible acumulación superficial, originando problemas de explotación y seguridad por hidropneumático. Otro efecto es la erosión de taludes. El modo de eliminar esta agua es mediante drenaje superficial.
- Aguas subterráneas. Su efecto es la alteración de los suelos, rebajando la estabilidad y la capacidad portante y descalzando los pavimentos. Por ello es necesario rebajar el nivel freático y no permitir la capilaridad. Para ello se utiliza el drenaje subterráneo.
- Afección a corrientes de agua ubicadas en las zonas limítrofes. La nueva infraestructura altera la orografía de la zona, y si se encuentra en zona de paso de avenidas o ramblas, puede provocar graves problemas. Para ello se diseña el drenaje de circunvalación.

El drenaje de una superficie portuaria se debe diseñar y construir en concordancia con la nivelación, ya que ambas son complementarias. Por ello, el sistema de drenaje puede condicionar el diseño final. Todas las aguas deben ser conducidas aprovechando cualquier depresión, lugares bajos o posibles salidas y conexiones a otras redes para facilitar el drenaje.

7.6.2 Informaciones básicas necesarias

Los datos más importantes necesarios para estudiar el drenaje de unas superficies portuarias son los siguientes:

- Topografía actual y futura de la zona de estudio y de sus alrededores.
- Ubicación de redes existentes o futuras que puedan tener una necesidad de interconexión con el sistema de drenaje a diseñar.

- Información con suficiente detalle de la nueva infraestructura a realizar, mostrando los viales, plataformas, terminales, aparcamientos, etc. Esta información deberá ser completa con las curvas de nivel y con las secciones longitudinales y transversales de las infraestructuras proyectadas. De aquí será posible obtener las cuencas de aportación, la circulación superficial del agua y los puntos de posible evacuación.
- Usos de las diferentes zonas, sistemas y modos de explotación. Para poder tomar decisiones es conveniente disponer de un índice que refleje el grado de afección a las explotaciones afectadas en el caso de tener un mal drenaje, (bajo medio, alto).
- Datos de precipitación (intensidad, frecuencia y duración) en la zona. Las curvas de intensidad duración deberán ser dibujadas con un periodo de retorno de 5 años o de 10 años, adoptando este último si las diferencias entre ambos no son muy grandes. Este periodo de retorno debe ser aumentado a 50 años y a 100 años para aquellos casos en los que el índice del grado de afección a la explotación de un mal drenaje sea medio y alto respectivamente. Para el drenaje de circunvalación o de cauces existentes, el periodo de retorno lo marcará la Normativa vigente y la Confederación Hidrográfica correspondiente.
- Estudios geológicos incluyendo las prospecciones necesarias que permitan el adecuado conocimiento de la geometría, distribución y características de los suelos, incluyendo los datos del nivel freático.
- Datos de los tipos de superficie de aportación por donde discurrirá el agua, que permitan calcular el coeficiente de escorrentía.
- Geometría definitiva de las superficies que permita la ubicación de los elementos de drenaje y el cálculo de los tiempos de concentración.

Otros datos que pueden ser necesarios en el caso de un estudio exhaustivo son los datos de temperaturas, incluyendo heladas y nevadas, las propiedades de infiltración de los suelos, la buena práctica en el entorno de la infraestructura, etc.

7.6.3 Análisis de datos

7.6.3.1 Selección de las pendientes

Con la configuración general del terreno y su entorno, la planificación de la infraestructura y las necesidades de explotación, se puede iniciar el estudio del sistema

de drenaje. En él se definirán y ajustarán las secciones tipo necesarias que muestren las inclinaciones de las diferentes secciones de las superficies y viales de la infraestructura, obteniéndose la geometría final definitiva en coordinación con las necesidades de la explotación.

En esa geometría final quedarán ubicados los puntos bajos o de desagüe y las inclinaciones máximas y mínimas. Es recomendable que no existan en ningún caso inclinaciones mínimas inferiores a un 0,5% en zonas pavimentadas y a un 2% en zonas no pavimentadas. Caso especial son las superficies con pavimento de adoquines o con presencia de irregularidades que necesitarían inclinaciones mínimas superiores que eviten las acumulaciones de agua.

Se hace referencia tanto a inclinaciones longitudinales (en paralelo al cantil) como a inclinaciones transversales (perpendiculares al cantil), debiendo por otra parte diferenciarse entre las superficies en las que puede haber depósito de mercancías y las destinadas exclusivamente a la circulación de los equipos.

En la medida de lo posible las inclinaciones serán a una sola agua en toda la superficie de que se trate, evitándose por tanto las limatesas paralelas al cantil del muelle. Las inclinaciones transversales máximas serán del 1,25% en superficies en las que pueda haber depósito de mercancías y del 1,75% en las destinadas exclusivamente a la circulación de los equipos, salvo en el caso de superficies adoquinadas, donde se admitirán inclinaciones transversales de hasta un 2,5%

Las inclinaciones longitudinales obtenidas al dividir la diferencia entre la elevación máxima y la mínima a lo largo de una línea paralela al cantil por la longitud de dicha línea, no debe exceder del 0,8% en superficies en las que pueda haber depósito de mercancías y del 1,25% en las destinadas exclusivamente a la circulación de los equipos. En ningún punto la inclinación longitudinal puede exceder del 1% en superficies en las que pueda haber depósito de mercancías y del 1,5% en las destinadas exclusivamente a la circulación de los equipos. Cuando no se pueda evitar un cambio de inclinación longitudinal dicho cambio no deberá estar convenientemente suavizado con un acuerdo parabólico de parámetro Kv igual o superior a 500 m y de longitud mayor de 15m.

En los casos de nuevos equipos de manipulación o de terminales automatizadas será necesario confirmar las limitaciones que pueden ser necesarias

7.6.3.2 Estimación de caudales

Entre los variados métodos existentes para la estimación de los caudales aportados en una cuenca de aportación, se recomienda utilizar, por haber demostrado la experiencia que es adecuado, el denominado “método racional”. Este método es aplicable a cuencas de aportación no muy grandes, similares a las que se pueden considerar en una superficie portuaria. Este método responde a la siguiente formula:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{300}$$

Siendo:

- Q = Caudal en m³/s.
- C = Coeficiente de escorrentía.
- I_c= Intensidad máxima de precipitación correspondiente al tiempo de concentración, en mm/h (l/m²/h) para un periodo de retorno considerado.
- A = Superficie de la cuenca de aportación en hectáreas.

Para conocer estos parámetros es necesario utilizar todo lo anteriormente expuesto. Se deberán considerar los diferentes tipos de superficie de la cuenca de aportación para calcular el valor ponderado del coeficiente de escorrentía.

Coeficiente de escorrentía

Aunque existen métodos de cálculo de los coeficientes de escorrentía de suelos que tienen en cuenta las variaciones de humedad y los grados de saturación, para el cálculo del drenaje de las superficies portuarias es suficiente el utilizar valores medios. En función de los diferentes tipos de superficies por donde circula el agua, hay diferentes

coeficientes de escorrentía a aplicar. Algunos los valores usados son 0,9-1,0 para suelos pavimentados, 0,2 para suelos granulares y 0,4 para suelos con vegetación.

El coeficiente de escorrentía ponderado será:

$$C = \frac{\sum (C_i \times A_i)}{A}$$

Siendo:

- C_i = Coeficiente de escorrentía de la subárea i .
- A_i = Superficie de la subárea i .

Tiempo de concentración

De acuerdo con el método racional, la descarga máxima en un punto cualquiera de un sistema de drenaje, ocurre cuando:

1. Contribuye el área de aportación completa.
2. Suponiendo una precipitación de duración indefinida, sería suficiente un determinado tiempo T_c (característico de cada cuenca) para alcanzar un máximo igual al caudal de equilibrio. Este tiempo T_c , denominado tiempo de concentración, se define como el transcurrido desde el inicio de aguacero hasta el final de su hidrograma superficial. Este tiempo de concentración depende del recorrido del agua desde el punto más remoto. Es necesario conocer la longitud de dicho recorrido, así como su pendiente media.

El tiempo en el que ocurre la máxima descarga, es el llamado tiempo de concentración. Este tiempo de concentración está formado por dos componentes: "Tiempo de descarga", T_d , y "Tiempo de agua circulando por los conductos del drenaje", T_t .

$$T_c = T_d + T_t$$

El "Tiempo de descarga" es el tiempo necesario para que el agua que corre por las superficies de aportación desde el punto más remoto del área a drenar, pueda llegar a un conducto de drenaje. El "Tiempo del agua circulando por los conductos del drenaje" es el tiempo que transcurre desde que el agua entra en el sistema de drenaje, hasta el punto que se está estudiando.

El "Tiempo del agua circulando por los conductos del drenaje", se puede estudiar de acuerdo a consideraciones hidráulicas.

La suma de ambos proporcionará el tiempo de concentración a considerar en al máximo caudal de aportación.

El tiempo de descarga se calcula mediante el criterio de la FAA, 1970. Esta fórmula fue desarrollada orientada al drenaje de aeropuertos en base a información recopilada por el Corps of Engineers. Ha sido utilizada frecuentemente para el cálculo de caudales superficiales en cuencas urbanas. Su formulación es la siguiente:

$$T_d = \frac{1.8 * (1.1 - C) * \sqrt{\frac{d}{0.3048}}}{\sqrt[3]{s}}$$

Siendo:

- Td = Tiempo de descarga en minutos.
- C = coeficiente de escorrentía.
- d = Distancia en metros que recorre el agua por la superficie hasta llegar a un conducto.
- s = Pendiente del terreno en tanto por ciento.

En lo relativo al tiempo del agua circulando por el sistema de drenaje (o tiempo en canaleta, en tubería, etc.) existen varias fórmulas habitualmente usadas para determinar las características de la corriente en los conductos. La fórmula de Manning es la más aplicada y es la recomendada para su uso:

$$Tt = \frac{L}{\frac{1}{n}(Rh)^{2/3}\sqrt{s}} \cdot \frac{1}{60}$$

en la cual:

Tt = Tiempo del agua circulando por el sistema de drenaje, en minutos.

L = Longitud del sistema de drenaje en metros

R = Radio hidráulico en metros = área mojada de la sección/perímetro mojado.

S = Pendiente del tubo en tanto por uno.

n = Coeficiente de Manning, dependiente de la rugosidad sistema de drenaje (para hormigón n=0,013).

El tiempo de concentración es la suma de los dos, y servirá para hallar el caudal a evacuar Q.

INTENSIDAD MÁXIMA DE PRECIPITACIÓN

La intensidad de precipitación a utilizar en la aplicación del Método Racional es la correspondiente a un determinado período de retorno y a un intervalo de duración coincidente con el tiempo de concentración.

Para su cálculo se utilizará una ley intensidad-duración de la forma:

$$\frac{I_{tc}}{I_d} = \left[\frac{I_1}{I_d} \right]^{\frac{28^{0.1}tc^{0.1}}{28^{0.1}-1}}$$

donde:

I_{tc} (mm/h): Intensidad media correspondiente al intervalo de duración t_c .

I_d (mm/h): Intensidad media diaria correspondiente al período de retorno considerado.

Por tanto: $I_d = Pd / 24$

t_c (h): Duración del intervalo al que se refiere I_{tc} .

Pd (mm): Precipitación total diaria correspondiente al período de retorno considerado.

I_1 (mm/h): Intensidad horaria de precipitación correspondiente al período de retorno considerado.

7.6.4 Reunión y distribución de las aguas a evacuar

Antes de especificar cualquier sistema de drenaje, se debe preparar un plano topográfico que muestre el estado actual del terreno con curvas de nivel con intervalos de 0,25 metros. Este plano debe ser tal que muestre todas las áreas que rodean las superficies portuarias a estudiar, con todos los cursos naturales de agua, pantanos, arroyos, cunetas, pendientes, lomas y demás accidentes del terreno. También debe mostrar todas las mejoras hechas en la eliminación de aguas y drenajes en las zonas inmediatas, tales como carreteras, canales, riego, y en general las instalaciones de drenaje.

Es necesario tener un detallado plano de la infraestructura, con las curvas finales dibujadas con un intervalo de 0,25 metros. Este plano es el plano de trabajo del drenaje. Todo el sistema debe ser hecho sobre él, con todos los contornos, y la identificación de cada área simple, todos los colectores principales y líneas de conductos secundarias, tipos de conductos, direcciones de las corrientes, pendientes, sumideros, desagües, registros visitables, alcantarillas cuando sean necesarias, caces, canales y otras características del drenaje.

Toda la geometría superficial final debe tener como resultado que todas las áreas tengan una posible evacuación de las aguas superficiales.

La primera consideración, sin embargo, es la determinación de un sistema de drenaje a un costo razonable, incluyendo la localización de los canales poco profundos, desagües, sumideros, registros visitables, caces, selección de pendientes, etc. Deben hacerse comparaciones entre varios proyectos de drenaje, pudiendo llegar de esta forma al diseño más práctico. Cuando se han colocado todos los elementos del drenaje, se debe hacer una tabulación y cálculo de los datos.

El agua deberá poder circular libremente en superficie, sin barreras o resaltos, eliminándose las zonas en las que se pudieran producir remansos o acumulaciones permanentes. A tal fin se comprobará la continuidad de las pendientes, así como la ausencia de obstáculos y de zonas encharcables. En las zonas de almacenamiento de graneles sólidos o de apilamiento de mercancía general directamente sobre el pavimento se comprobará que los materiales almacenados o apilados no constituyen una barrera al paso del agua, disponiéndose en caso contrario de los adecuados dispositivos de paso.

Normalmente los elementos de desagüe deben ser colocados al menos a 30 metros del borde del pavimento. Debe evitarse el estancamiento del agua. Las inclinaciones deben ser diseñadas de tal forma que se intente que los elementos de desagüe puedan ser colocados cerca de los bordes de plataformas, de viales, etc. de manera que interfieran lo menos posible con la explotación. Las inclinaciones mínimas de las superficies no pavimentadas, fuera de los pavimentos, dependerán de la naturaleza del suelo. En estos casos, a modo general, es recomendable disponer una inclinación mínima del 5% junto a los bordes del pavimento para facilitar un rápido desagüe.

Se debe dar especial tratamiento a los elementos de desagüe que se encuentran, por necesidad, cerca de las intersecciones o cruces de viales o accesos, pero en general se deben ubicar fuera de la zona de circulación. En muchos casos se debe tener la previsión de considerar eventuales pequeñas áreas inundables en los alrededores de los imbornales o sumideros. Estas áreas inundables deben de ser diseñadas de tal forma que presenten unas inclinaciones transversales satisfactorias. Estas pequeñas áreas inundables no deben de tenerse en cuenta en el proyecto, aun pensando que tales áreas inundables se deben prever, puesto que cualquier zona inundable debe ser considerada como una zona afectada de un factor de seguridad, que ofrece una protección en el caso de que se produzca una tormenta que no se ha previsto en el proyecto.

Los elementos de desagüe se deben colocar en todos los puntos bajos, o en sus inmediaciones, creados por las pendientes de la superficie. En el caso de una gran longitud a ser recorrida por el agua en una misma dirección, los elementos de desagüe deben estar espaciados de tal manera que al agua superficial circulante no viaje durante una excesiva distancia hasta alcanzar su destino.

La recogida de las aguas de lluvia es habitual llevarla a cabo por medio de caces de sumidero continuo, protegidas o no por rejillas de, de manera que en superficie no se produzcan irregularidades apreciables que dificulten la circulación. A dichos caces se les dotará de la mayor pendiente que sea compatible con la geometría de la superficie.

En el caso de los muelles, salvo aspectos medioambientales que sea necesario considerar, los caces perpendiculares al cantil verterán directamente al mar, mientras que los paralelos desaguarán por colectores directamente hacia el mar y dispuestos a

distancias no superiores a 50m. Normalmente elementos de desagüe deben estar separados de manera que las aguas superficiales no recorran en ningún punto distancias superiores a 25 m.

Los registros visitables, o combinación de ellos con los imbornales o sumideros, deben ser puestos cuando se considere necesario. En un buen sistema de drenaje, los registros visitables deben ser colocados en todos los cambios de pendiente de los conductos, en sus cambios de tamaño, de dirección, en las uniones de líneas de conductos y a razonables distancias con propósitos de limpieza e inspección.

Todos los cursos naturales de agua, arroyos y desembocaduras deben ser exactamente situados en los planos iniciales del drenaje, ya que el drenaje puede ser estudiado de tal manera que muchos de estos cursos de agua puedan ser usados para evacuar de una manera rápida el agua recogida. Es necesario indicar que puede no ser posible esta evacuación a cursos naturales debido al tipo de uso de la superficie portuaria que pueda producir una contaminación que obligue al tratamiento de las aguas o vertidos posibles. En caso contrario, este procedimiento es necesario, ya que de esta manera se pueden emplear estos desagües, facilitando el proyecto de drenaje. Usando estos desagües, el costo del sistema puede reducirse a un mínimo, ya que nos puede ayudar a reducir el tamaño de los colectores a emplear y a disminuir las conducciones de descarga.

Cuando sea posible, se deben usar canales periféricos que reciban el agua que circula por el sistema de drenaje, que recolecten las aguas de la superficie portuaria y sus áreas adyacentes, que intercepten las aguas de las alturas próximas al terreno, y en muchos casos que ayuden a bajar el nivel freático del terreno. Será necesario el estudio de estos canales cuando pueda haber una interferencia de los mismos con algún vial u otro elemento de la urbanización portuaria. En estos casos se deberán colocar conducciones subterráneas que den continuidad al drenaje. En el caso que no estuviera previsto su revestimiento se debe estudiar el terreno para evitar la posible erosión que pueda haber por causa de este sistema. Los canales abiertos tienen una gran tendencia a erosionarse. Estos canales no deben de ponerse en terrenos arenosos o erosionables, salvo que ello sea absolutamente necesario, y aún entonces, los canales deben ser construidos con pendientes muy suaves, y revegetados para prevenir la erosión.

Si la cantidad de agua a eliminar, no pudiera evacuarse a corrientes de agua existentes o

a canales de drenaje naturales, o la cantidad de agua se viera incrementada por encima de lo normal (tormentas), se puede plantear utilizar sistemas de pozos drenantes, donde el agua recogida se almacena e infiltra al subsuelo.

De acuerdo a aspectos medioambientales, puede ser necesario tratar las aguas recogidas antes de ser conducidas a los cauces existentes (ríos, arroyos, canales) o al subsuelo (mediante pozos drenantes). Especialmente contaminadas pueden ser las aguas que se recogen de una plataforma de estacionamiento, o de graneles donde puede haber pérdidas de combustible y aceites u otros productos contaminantes. Estas aguas contaminadas deben llevarse a una planta de tratamiento, en cuya salida la concentración de dichos productos sea acorde con la Normativa vigente al respecto.

7.6.5 Corrientes de agua en conducciones

Después de haber localizado los imbornales o sumideros, los pozos visitables, las líneas de conductos y las desembocaduras, y de haber determinado el proyecto de la eliminación del agua y de haber calculado todas las áreas, el próximo paso en el proyecto debe ser el cálculo (por medio de fórmulas hidráulicas apropiadas) del tamaño y pendiente de los conductos de drenaje. También el tiempo de permanencia del agua en los conductos desde las captaciones, lo cual se puede computar de acuerdo con las características hidráulicas de las conducciones.

En el proyecto se debe tener en cuenta que es muy importante el mantener en los conductos una velocidad del agua lo suficiente elevada como para que no se depositen los materiales que se puedan haber introducido en ellos por las captaciones.

Los colectores no podrán tener en ningún caso diámetros inferiores a 30cm, recomendándose que los menores sean de 40cm de diámetro. Se evitarán en los colectores los puntos bajos o tramos con poca pendiente, favorables al depósito de sedimentos, salvo que resulten inevitables y se dispongan los oportunos areneros. Si los puntos bajos pudieran ser debidos a asentamientos se dará una contraflecha a los tubos, igual al asiento previsible. En todo caso, se recomienda adaptar los colectores a su limpieza por agua a presión.

En cruces de caces, en la unión con colectores perpendiculares de desagüe y en cualquier caso a distancias no superiores a los 25 m se dispondrán arquetas provistas del correspondiente arenero.

7.6.6 Elementos estructurales del sistema de drenaje

Los elementos estructurales que normalmente se usan en los drenajes suelen ser de escasa entidad o similares a las estructuras habituales empleadas en las infraestructuras viarias. Las estructuras en deben de estar diseñadas de tal manera que no sobresalgan del nivel del suelo. La parte más alta de tal estructura debe de estar a 0,10 ó 0,20 metros bajo el terreno, para que se puedan poner en los alrededores algunas instalaciones y para facilitar la entrada del agua.

Los elementos más generalmente usados, son los imbornales o sumideros, los registros visitables y la combinación de ellos, sumideros visitables. Algunas de estas estructuras pueden ser cubiertas con unas rejillas cuando sea necesario que capten importantes caudales de agua superficial o que intercepten importantes superficies con pendientes uniformes. Las rejillas pueden ser de hierro, acero o hierro forjado.

Hay que considerar la eventual necesidad de implantar colectores ranurados o caces continuos con rejillas.

En las áreas de tráfico, los vehículos y maquinaria pueden pasar por encima de las rejillas, de los colectores ranurados y de los caces, y por lo tanto todo ello se debe de calcular para dichas cargas. Los elementos con rejillas deben de estar diseñados y ejecutados de manera que no se puedan levantar o desplazar por causa del tráfico circulante.

Los elementos estructurales, pueden ser contruidos de hormigón armado, ladrillo, bloques de cemento, o de mampostería. Deberán ser lo suficientemente resistentes como para resistir las cargas a las que estarán sujetos.

7.6.7 Cargas en conductos

En el diseño y construcción de los conductos del tipo de colectores ranurados o caces con rejilla o tubos bajo pavimento del sistema de drenaje, se debe tener en cuenta la máxima carga por rueda. Las pendientes de los conductos deben ser establecidas para proveerlas de la necesaria cobertura, esto es, la distancia entre el techo del conducto y el pavimento. Un buen diseño requiere el considerar la máxima carga por rueda simple de la maquinaria o vehículos que van a afectar al sistema de drenaje, la propia resistencia del elemento, los detalles de las condiciones de construcción, el tipo y la resistencia del pavimento, etc.

7.6.8 Control de la erosión

Un importante punto en el drenaje es el proteger las secciones de desmonte y de terraplén. A menos que las pendientes estén correctamente proyectadas según los tipos y materiales contenidos en ellas, la erosión puede comenzar con la primera precipitación. La práctica general es la de mantener una pendiente acorde al tipo de material del talud. Asimismo, se debe reconducir y canalizar el agua superficial a bajantes con el fin de prevenir la erosión y formación de cárcavas.

En caso que sea necesario podrá contemplarse el diseño y construcción de cunetas de guarda o canalizaciones que intercepten el agua superficial.

7.6.9 Estancamiento

En aquellos casos y lugares que no sea dañina la presencia ocasional de agua se pueden prever zonas donde se admita un tiempo de estancamiento.

7.6.10 Drenaje del subsuelo

El drenaje subterráneo se puede considerar como la interceptación de las aguas o corrientes subterráneas, eliminación de las aguas de infiltración en grandes áreas, control de la humedad en la base o en subbase, o bien una combinación de ellas. El drenaje del subsuelo no suele ser necesario, puesto que normalmente suele ser más efectivo eliminar las aguas por medio de pendientes propias o bien por medio del drenaje de superficie. Cuando este drenaje es necesario, es debido a la necesidad de interceptar

aguas subterráneas provenientes de las zonas adyacentes o de rebajar el nivel freático existente y no para la eliminación de otros tipos de agua que puedan afectar a la infraestructura.

El control de la presencia de agua debajo del pavimento es la principal razón de drenaje del subsuelo a lo largo de los bordes del pavimento. El agua libre puede introducirse debajo del pavimento por diferentes razones. El agua puede introducirse debajo de los pavimentos por un nivel freático elevado, durante un periodo húmedo excepcional, o bien puede ser elevada por medio de la capilaridad a lo alto de la subbase. En todos los casos habrá que estudiar la disposición más adecuada. Estos drenajes no deberían necesitar ser de grandes dimensiones, y bajo condiciones normales un tubo de 15 o 20 centímetros será suficiente.

7.6.11 Construcción y mantenimiento del sistema

Las obras que generalmente están asociadas a la construcción de un sistema de drenaje son las excavaciones, las zanjas, los apuntalamientos; preparación de fondos y de asiento, alineación y unión de los conductos, rellenos y compactaciones, instalación de las estructuras y limpieza.

Cuando se planee el mantenimiento se tendrá que incluir el mantenimiento de las áreas que lo rodean. Cualquier obstrucción que impida el libre movimiento de las aguas por el sistema de drenaje deberá de ser eliminada.

7.6.12 Hidroplaneo

El hidroplaneo es el fenómeno de reducción del coeficiente de rozamiento de una superficie por la existencia de una lámina de agua. Permite, por ejemplo, patinar sobre el pavimento sin que el frenado o guiado sea efectivo.

El fenómeno del hidroplaneo no es muy frecuente a velocidades reducidas. No obstante, es necesario considerarlo.

Cuando un neumático gira, en el rozamiento influyen las características superficiales del pavimento (la textura), la carga sobre la rueda, la deformación del neumático y la

histéresis del mismo, y el dibujo del neumático. Si existe una lámina de agua, la rueda puede llegar despegarse del suelo y al no existir fuerza entre ambos no se produce el par de rodadura.

La aparición de acumulación de agua superficial fomenta la aparición del fenómeno.

La textura del pavimento, la velocidad de avance y la presión del neumático son los factores más importantes del hidroplaneo.

Es necesario destacar que, en las superficies portuarias, salvo en los viales de acceso, las velocidades de vehículo y maquinaria son reducidas. No obstante, las características de los mismos, la poca textura de los pavimentos y las eventuales brusquedades de maniobra, unidos a las graves consecuencias que puede tener un accidente aconsejan tratar de evitar las acumulaciones agua que pudieran provocar puntualmente una situación de hidroplaneo.

Por ello se evitará la eventual acumulación de agua superficial por embalsamiento o circulación en las zonas de circulación y de operación.

**CATÁLOGO DE SECCIONES
ESTRUCTURALES NORMALIZADAS**

ÍNDICE

- 8.1 Bases de utilización
- 8.2 Comentarios generales
- 8.3 Fichas del catálogo

CATÁLOGO DE SECCIONES ESTRUCTURALES NORMALIZADAS

En diversas fichas se presenta en esta parte una amplia gama de soluciones de firme, tanto definitivas como provisionales, para las distintas zonas portuarias en función de las categorías del tráfico y de la explanada.

8.1 BASES DE UTILIZACIÓN

Este catálogo tiene por objetivo ofrecer soluciones de pavimentación portuaria según los diferentes usos y zonas para una vida útil de hasta 30 años. Para las distintas situaciones se recogen diversas opciones; de cada una de ellas se indican las unidades de obra que han de constituir las distintas capas y los espesores de las mismas. La solución a elegir entre esas posibilidades se hará principalmente a partir de estudios económicos, pero también en su caso de consideraciones funcionales, ambientales y estéticas.

La metodología a seguir para la elección del firme consta de las siguientes etapas:

- Definición de la categoría de explanada.
- Determinación del uso de la zona donde se va a proyectar el firme.
- Determinación del tipo de zona dentro del uso considerado.
- Definición de la categoría de tráfico.

8.2 COMENTARIOS GENERALES

En las fichas se recogen de manera individualizada sólo los pavimentos, dado que, salvo en los casos que expresamente se señalan, las capas inferiores son idénticas para todas las situaciones y sólo dependientes de la categoría de la explanada.

Los espesores indicados deben considerarse como espesores mínimos en cualquier punto del firme, con lo que los espesores medios habrán de ser algo mayores, del orden de 0,01 a 0,03 m, según las tolerancias admisibles en cada caso y la terminación de la capa subyacente.

El catálogo se refiere en principio sólo a situaciones generales de pavimentación portuaria. Para otras situaciones de pavimentación portuaria no recogidas expresamente en el catálogo, el proyectista procederá por analogía con las situaciones explícitamente consideradas o si se trata de casos especiales deberá abordarlos de acuerdo con las pautas de dimensionamiento dadas en la Parte 6 y en el anejo correspondiente.

8.3 FICHAS DEL CATÁLOGO

El catálogo de secciones estructurales normalizadas para pavimentos portuarios está compuesto por las tablas o fichas que se presentan a continuación.

Además de las precisiones indicadas en las propias fichas del catálogo, el proyectista deberá tener en cuenta las siguientes:

- En las situaciones no recogidas expresamente en las fichas del catálogo se procederá por analogía de acuerdo con los principios recogidos en las Partes 2 y 3.
- En zonas de almacenamiento de graneles sólidos el proyectista valorará la conveniencia o no, por razones de limpieza, de considerar la solución de adoquines prefabricados de hormigón.
- En las zonas de almacenamiento de contenedores hay que distinguir dos situaciones: el depósito de los contenedores y la circulación de los equipos de manipulación. En las zonas destinadas exclusivamente a dicha circulación son de aplicación directa las soluciones recogidas en las correspondientes fichas del catálogo. En cambio, en relación a las zonas destinadas al depósito de contenedores se pueden realizar las siguientes consideraciones:
 - Los adoquines prefabricados de hormigón son soluciones perfectamente adaptadas a esta situación.
 - Cuando las soluciones de pavimento de hormigón no satisfagan los requerimientos teóricos de los modelos de cálculo, existe la posibilidad de que se produzcan fisuras del pavimento, aunque no afecten a su funcionalidad.

- En el caso de los pavimentos continuos de hormigón armado y de hormigón armado con fibras, las barras en un caso y las fibras en el otro mantendrán cosidas dichas fisuras, por lo que no es de temer una evolución negativa.
- En el caso de los pavimentos de hormigón en masa (vibrado o compactado) la fisuración puede evolucionar negativamente sólo si existe una circulación frecuente de vehículos o equipos pesados. Por tanto, dicha fisuración puede considerarse un deterioro admisible, compatible con la explotación, siempre que se trate de zonas exclusivas para el depósito de los contenedores (si las zonas están dedicadas exclusivamente a la circulación, ya se ha indicado que el dimensionamiento responde a los requerimientos teóricos de los modelos de cálculo).
- Si en las zonas de depósito de contenedores se quiere garantizar una ausencia absoluta de cualquier tipo de deterioro empleando superficies de hormigón, habrá que proceder al dimensionamiento de soleras de hormigón armado siguiendo los criterios y procedimientos de la Instrucción EH-08.
 - En las zonas de estacionamiento de semirremolques, si se adopta la solución de pavimentar de manera específica y diferenciada sólo una franja de 1 m de anchura, el resto será pavimentado con los criterios de la Instrucción 6.1 y 2 IC de secciones de firme.
 - En las vías de maniobra se adoptará la misma solución que en la zona con mayores requerimientos entre las comunicadas por dicha vía.
 - En los viales de acceso, la solución se adoptará de acuerdo con la Instrucción 6.1 y 2 IC de secciones de firme.
 - En las zonas complementarias destinadas a la circulación de vehículos las soluciones se adoptarán en general de acuerdo con la Instrucción 6.1 y 2 IC de secciones de firme. Sin embargo, el proyectista podrá optar por la adopción de soluciones como las indicadas para las zonas complementarias de estacionamiento. En cualquier caso, tratará de armonizar las soluciones adoptadas con las que se empleen en el viario urbano próximo.

USO COMERCIAL	ZONAS DE OPERACIÓN
----------------------	---------------------------

I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5		
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO
0,32 m	0,29 m	0,26 m
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO		
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO
0,32 m	0,29 m	0,26 m
III: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO		
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO
0,28 m	0,25 m	0,22 m
IV: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS		
MÁXIMO	MEDIO	MEDIO
0,25 m	0,22 m	0,20 m
V: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾		
MÁXIMO ⁽²⁾	MEDIO ⁽³⁾	MÍNIMO
0,12 m	0,10 m	0,10 m
<p>NOTAS:</p> <p>(1): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.</p> <p>(2): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).</p>		

USO COMERCIAL		ALMACENAMIENTO DE GRANELES SÓLIDOS	
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5			
MÁXIMO		MEDIO	MÍNIMO
0,26 m		0,23 m	0,20 m
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS ⁽¹⁾			
MÁXIMO		MEDIO	MÍNIMO
0,20 m		0,18 m	0,18 m
III: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽²⁾			
MÁXIMO ⁽⁴⁾		MEDIO	MÍNIMO
0,10 m		0,10 m	0,08 m
IV: MEZCLAS BITUMINOSAS			
MÁXIMO ⁽³⁾		MEDIO	MEDIO
0,30 m		0,25 m	0,20 m
V: MEZCLAS BITUMINOSAS DE ALTO MÓDULO			
MÁXIMO ⁽⁴⁾		MEDIO	MÍNIMO
0,24 m		0,20 m	0,16 m
<p>NOTAS:</p> <p>(1): Esta resolución está especialmente recomendada para zonas de almacenamiento de chatarra.</p> <p>(2): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.</p> <p>(3): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).</p> <p>(4): Esta solución sólo se empleará en el caso de que se pueda garantizar que los equipos de manipulación o la mercancía no van a producir desagregaciones de la superficie. El proyectista considerará la eventual sustitución de los 0,04 m superiores por un pavimento percolado del mismo espesor.</p>			

USO COMERCIAL			ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍA GENERAL PALETIZADA		
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,27 m		0,25 m		0,23 m	
II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,18 m		0,17 m		0,15 m	
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,21 m		0,19 m		0,17 m	
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾					
MÁXIMO		MEDIO		MEDIO	
0,12 m		0,10 m		0,10 m	
V: MEZCLAS BITUMINOSAS					
MÁXIMO ⁽²⁾		MEDIO ⁽²⁾		MÍNIMO	
0,34 m		0,32 m		0,29 m	
VI: MEZCLAS BITUMINOSAS DE ALTO MÓDULO					
MÁXIMO ⁽³⁾		MEDIO ⁽³⁾		MÍNIMO	
0,22 m		0,20 m		0,19 m	

NOTAS:

- (1): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.
- (2): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).
- (3): El proyectista considerará la eventual sustitución de los 0,04 m superiores por un pavimento percolado del mismo espesor.

USO COMERCIAL

**ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES
(5 alturas)**

I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5 ⁽¹⁾		
MÁXIMO 0,64 m	MEDIO 0,61 m	MÍNIMO 0,57 m
II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO		
MÁXIMO 0,46 m	MEDIO 0,44 m	MÍNIMO 0,41 m
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS		
MÁXIMO 0,51 m	MEDIO 0,49 m	MÍNIMO 0,46 m
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽²⁾		
MÁXIMO ⁽³⁾ 0,12 m	MEDIO ⁽³⁾ 0,10 m	MEDIO 0,10 m
V: MEZCLAS BITUMINOSAS DE ALTO MÓDULO		
MÁXIMO 0,57 m	MEDIO 0,54 m	MÍNIMO 0,50 m
<p>NOTAS:</p> <p>(1): En las zonas de depósito de los contenedores existe la posibilidad, con los espesores indicados, de que se produzcan fisuraciones, que se consideran admisibles si dichas zonas van a ser empleadas para depósito y no para la circulación de los equipos.</p> <p>(2): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.</p> <p>(3): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).</p>		

USO COMERCIAL			ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES (Zona de operación con Reach Stacker)		
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5 ⁽¹⁾					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,53 m		0,49 m		0,47 m	
II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,32 m		0,30 m		0,27 m	
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,38 m		0,35 m		0,32 m	
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽²⁾					
MÁXIMO ⁽³⁾		MEDIO ⁽³⁾		MEDIO	
0,12 m		0,10 m		0,10 m	
V: MEZCLA BITUMINOSA DE ALTO MÓDULO					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,36 m		0,32 m		0,29 m	
VI: MEZCLA BITUMINOSA					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,61 m		0,56 m		0,50 m	
NOTAS:					
(1): En las zonas de depósito de los contenedores existe la posibilidad, con los espesores indicados, de que se produzcan fisuraciones, que se consideran admisibles si dichas zonas van a ser empleadas para depósito y no para la circulación de los equipos.					
(2): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un					

<p>espesor tras compactación de 0,03 m. (3): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).</p>		
USO COMERCIAL ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES (Zona de operación con Straddle Carrier)		
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5 ⁽¹⁾		
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO
0,20 m	0,20 m	0,20 m
II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO		
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO
0,15 m	0,15 m	0,15 m
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS		
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO
0,15 m	0,15 m	0,15 m
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽²⁾		
MÁXIMO ⁽³⁾	MEDIO ⁽³⁾	MEDIO
0,12 m	0,10 m	0,10 m
V: MEZCLA BITUMINOSA DE ALTO MÓDULO		
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO
0,14 m	0,13 m	0,13 m
VI: MEZCLA BITUMINOSA		
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO
0,24 m	0,22 m	0,21 m

<p>NOTAS:</p> <p>(1): En las zonas de depósito de los contenedores existe la posibilidad, con los espesores indicados, de que se produzcan fisuraciones, que se consideran admisibles si dichas zonas van a ser empleadas para depósito y no para la circulación de los equipos.</p> <p>(2): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.</p> <p>(3): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20(0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).</p>		
<p>USO COMERCIAL ZONA RO-RO ESTACIONAMIENTO DE SEMIRREMOLQUES (Camión con semirremolque)</p>		
<p>I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5⁽¹⁾</p>		
<p>MÁXIMO</p> <p>0,27 m</p>	<p>MEDIO</p> <p>0,25 m</p>	<p>MÍNIMO</p> <p>0,24 m</p>
<p>II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO</p>		
<p>MÁXIMO</p> <p>0,18 m</p>	<p>MEDIO</p> <p>0,17 m</p>	<p>MÍNIMO</p> <p>0,16 m</p>
<p>III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS DE ACERO</p>		
<p>MÁXIMO</p> <p>0,21 m</p>	<p>MEDIO</p> <p>0,19 m</p>	<p>MÍNIMO</p> <p>0,18 m</p>
<p>IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽²⁾</p>		
<p>MÁXIMO ⁽³⁾</p> <p>0,12 m</p>	<p>MEDIO ⁽³⁾</p> <p>0,10 m</p>	<p>MEDIO</p> <p>0,10 m</p>
<p>V: MEZCLA BITUMINOSA DE ALTO MÓDULO</p>		
<p>MÁXIMO</p> <p>0,22 m</p>	<p>MEDIO</p> <p>0,20 m</p>	<p>MÍNIMO</p> <p>0,19 m</p>
<p>VI: MEZCLA BITUMINOSA</p>		

MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO
0,32 m	0,30 m	0,28 m
<p>NOTAS:</p> <p>(1): En las zonas de depósito de los contenedores existe la posibilidad, con los espesores indicados, de que se produzcan fisuraciones, que se consideran admisibles si dichas zonas van a ser empleadas para depósito y no para la circulación de los equipos.</p> <p>(2): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.</p> <p>(3): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).</p>		

USO COMERCIAL ZONA RO-RO ESTACIONAMIENTO DE SEMIRREMOLQUES ⁽¹⁾ (Roll-Trailer)		
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5		
MÁXIMO 0,32 m	MEDIO 0,30 m	MÍNIMO 0,28 m
II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO		
MÁXIMO 0,22 m	MEDIO 0,20 m	MÍNIMO 0,19 m
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS		
MÁXIMO 0,25 m	MEDIO 0,23 m	MÍNIMO 0,22 m
IV: BEZCLA BITUMINOSA DE ALTO MÓDULO		
MÁXIMO 0,26 m	MEDIO 0,24 m	MEDIO 0,23 m
V: MEZCLA BITUMINOSA		
MÁXIMO 0,38 m	MEDIO 0,36 m	MÍNIMO 0,33 m
<p>NOTAS: (1): En toda la zona o bien sólo en una franja de 1 m de anchura para el apoyo de la parte delantera del semirremolque desenganchado del tractor. En este último caso el tratamiento del resto será el correspondiente a las zonas complementarias de estacionamiento.</p>		

USO COMERCIAL		ZONAS COMPLEMENTARIAS	
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5			
MÁXIMO		MEDIO	MÍNIMO
0,27 m		0,25 m	0,24 m
II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO			
MÁXIMO		MEDIO	MÍNIMO
0,18 m		0,17 m	0,16 m
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS			
MÁXIMO		MEDIO	MÍNIMO
0,21 m		0,19 m	0,18 m
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾			
MÁXIMO ⁽²⁾		MEDIO ⁽²⁾	MEDIO
0,10 m		0,08 m	0,08 m
V: MEZCLA BITUMINOSA DE ALTO MÓDULO			
MÁXIMO		MEDIO	MÍNIMO
0,22 m		0,20 m	0,19 m
VI: MEZCLA BITUMINOSA			
MÁXIMO		MEDIO	MÍNIMO
0,32 m		0,30 m	0,28 m
NOTAS:			
(1): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.			
(2): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).			

USO INDUSTRIAL		ZONAS DE OPERACIÓN	
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5			
MÁXIMO		MEDIO	MÍNIMO
0,32 m		0,29 m	0,26 m
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO			
MÁXIMO		MEDIO	MÍNIMO
0,32 m		0,29 m	0,26 m
III: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO			
MÁXIMO		MEDIO	MÍNIMO
0,28 m		0,25 m	0,22 m
IV: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS			
MÁXIMO		MEDIO	MEDIO
0,25 m		0,22 m	0,20 m
V: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾			
MÁXIMO ⁽²⁾		MEDIO ⁽²⁾	MÍNIMO
0,12 m		0,10 m	0,10 m
<p>NOTAS:</p> <p>(1): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.</p> <p>(2): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelocemento (0,20 m).</p>			

USO INDUSTRIAL		ZONAS DE ALMACENAMIENTO	
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5			
MÁXIMO		MEDIO	MÍNIMO
0,27 m		0,25 m	0,23 m
II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO			
MÁXIMO		MEDIO	MÍNIMO
0,18 m		0,17 m	0,15 m
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS			
MÁXIMO		MEDIO	MÍNIMO
0,21 m		0,19 m	0,17 m
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾			
MÁXIMO ⁽²⁾		MEDIO ⁽²⁾	MEDIO
0,12 m		0,10 m	0,10 m
V: MEZCLA BITUMINOSA			
MÁXIMO ⁽³⁾		MEDIO ⁽³⁾	MÍNIMO
0,34 m		0,32 m	0,29 m
<p>NOTAS:</p> <p>(1): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.</p> <p>(2): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelocemento (0,20 m).</p> <p>(3): El proyectista considerará la eventual sustitución de los 0,04 m superiores por un pavimento percolado del mismo espesor.</p>			

USO MILITAR		ZONAS DE OPERACIÓN	
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5			
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO	
0,32 m	0,29 m	0,26 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO			
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO	
0,32 m	0,29 m	0,26 m	
III: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO			
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO	
0,28 m	0,25 m	0,22 m	
IV: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS			
MÁXIMO	MEDIO	MEDIO	
0,25 m	0,22 m	0,20 m	
V: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾			
MÁXIMO ⁽²⁾	MEDIO ⁽²⁾	MÍNIMO	
0,12 m	0,10 m	0,10 m	
<p>NOTAS:</p> <p>(1): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.</p> <p>(2): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).</p>			

USO MILITAR		ZONAS DE ALMACENAMIENTO	
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5			
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO	
0,27 m	0,25 m	0,23 m	
II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO			
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO	
0,18 m	0,17 m	0,15 m	
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS			
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO	
0,21 m	0,19 m	0,17 m	
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾			
MÁXIMO ⁽²⁾	MEDIO ⁽²⁾	MEDIO	
0,12 m	0,10 m	0,10 m	
V: MEZCLA BITUMINOSA			
MÁXIMO ⁽³⁾	MEDIO ⁽³⁾	MÍNIMO	
0,34 m	0,32 m	0,29 m	
<p>NOTAS:</p> <p>(1): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.</p> <p>(2): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelocemento (0,20 m).</p> <p>(3): El proyectista considerará la eventual sustitución de los 0,04 m superiores por un pavimento percolado del mismo espesor.</p>			

USO PESQUERO		ZONAS DE OPERACIÓN	
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5			
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO	
0,32 m	0,29 m	0,26 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO			
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO	
0,32 m	0,29 m	0,26 m	
III: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO			
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO	
0,28 m	0,25 m	0,22 m	
IV: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS			
MÁXIMO	MEDIO	MEDIO	
0,25 m	0,22 m	0,20 m	
V: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾			
MÁXIMO ⁽²⁾	MEDIO ⁽²⁾	MÍNIMO	
0,12 m	0,10 m	0,10 m	
<p>NOTAS:</p> <p>(1): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.</p> <p>(2): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).</p>			

USO PESQUERO			ZONAS DE CLASIFICACIÓN, PREPARACIÓN Y VENTA		
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,27 m		0,25 m		0,23 m	
II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,18 m		0,17 m		0,15 m	
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,21 m		0,19 m		0,17 m	
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾					
MÁXIMO ⁽²⁾		MEDIO ⁽²⁾		MEDIO	
0,12 m		0,10 m		0,10 m	
V: MEZCLA BITUMINOSA					
MÁXIMO ⁽³⁾		MEDIO ⁽³⁾		MÍNIMO	
0,34 m		0,32 m		0,29 m	
<p>NOTAS:</p> <p>(1): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.</p> <p>(2): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).</p> <p>(3): El proyectista considerará la eventual sustitución de los 0,04 m superiores por un pavimento percolado del mismo espesor.</p>					

USO PESQUERO			ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO		
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,27 m		0,25 m		0,24 m	
II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,18 m		0,17 m		0,16 m	
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,21 m		0,19 m		0,18 m	
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾					
MÁXIMO ⁽²⁾		MEDIO ⁽²⁾		MEDIO	
0,10 m		0,08 m		0,08 m	
V: MEZCLA BITUMINOSA DE ALTO MÓDULO					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,22 m		0,20 m		0,19 m	
VI: MEZCLA BITUMINOSA					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,32 m		0,30 m		0,28 m	
NOTAS:					
(1): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.					
(2): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).					

USO DEPORTIVO		ZONAS DE OPERACIÓN O VARADA	
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5			
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO	
0,32 m	0,29 m	0,26 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO			
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO	
0,32 m	0,29 m	0,26 m	
III: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO			
MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO	
0,28 m	0,25 m	0,22 m	
IV: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS			
MÁXIMO	MEDIO	MEDIO	
0,25 m	0,22 m	0,20 m	
V: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾			
MÁXIMO ⁽²⁾	MEDIO ⁽²⁾	MÍNIMO	
0,12 m	0,10 m	0,10 m	
<p>NOTAS:</p> <p>(1): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.</p> <p>(2): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).</p>			

USO DEPORTIVO			ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO		
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,27 m		0,25 m		0,24 m	
II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,18 m		0,17 m		0,16 m	
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,21 m		0,19 m		0,18 m	
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾					
MÁXIMO ⁽²⁾		MEDIO ⁽²⁾		MEDIO	
0,10 m		0,08 m		0,08 m	
V: MEZCLA BITUMINOSA DE ALTO MÓDULO					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,22 m		0,20 m		0,19 m	
VI: MEZCLA BITUMINOSA					
MÁXIMO		MEDIO		MÍNIMO	
0,32 m		0,30 m		0,28 m	
NOTAS:					
(1): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m.					
(2): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).					

ÍNDICE

- 9.1 Principios generales
- 9.2 Información necesaria para la gestión de la conservación
- 9.3 Estados límite
- 9.4 Actuaciones de conservación
- 9.5 Plan de conservación

9.1 PRINCIPIOS GENERALES

La gestión de la conservación de los pavimentos portuarios es un conjunto de operaciones interrelacionadas entre sí, cuyo objetivo fundamental es mantener la funcionalidad y operatividad del pavimento durante un período de tiempo relativamente prolongado, para lo cual es necesario concebir y ejecutar una serie de actuaciones de acuerdo con una estrategia preestablecida. El propósito de dichas actuaciones es mantener la operatividad del pavimento para que sirva de base adecuada a la explotación portuaria al mínimo coste posible.

Los pavimentos portuarios están diseñados para servir al tráfico portuario con los mayores rendimientos y de la forma más segura posible. Un descuido en la vigilancia del pavimento puede conllevar que sus deterioros avancen más rápidamente, con el consiguiente aumento del presupuesto necesario para repararlos. Por ello, una advertencia en el momento preciso puede implicar ahorros considerables.

En el caso de los pavimentos portuarios deben tenerse en cuenta algunos aspectos característicos, tales como:

- El pavimento portuario es una obra localizada, en la que se pueden distinguir a su vez varias zonas según los usos a los que se destinan: contenedores, mercancía general, graneles, vías de acceso, etc.
- La gestión de la conservación debe tener en cuenta que cada una de estas zonas tiene particularidades en relación con las cargas e intensidades que soportan, los niveles de actuación más adecuados, los materiales con que se construyen y las estrategias de conservación recomendables.
- Es preciso priorizar las actuaciones de cada zona, que deben estar determinadas más por el volumen y características de la mercancía que se manipula que por el estado que presenta el pavimento, es decir, han de depender de la importancia de la zona dentro de la actividad general del puerto.

Los objetivos de carácter general son:

- Conservar las diferentes zonas del puerto con una calidad satisfactoria para el desarrollo de la explotación portuaria considerada.
- Reparar según las estrategias de conservación consideradas.

- Optimizar la aplicación de los recursos disponibles en cada puerto.
- Reducir las afecciones derivadas del uso de materiales o de sistemas constructivos inadecuados.

9.2 INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA GESTIÓN DE LA CONSERVACIÓN

Para que se puedan cumplir los objetivos generales citados es imprescindible contar con información detallada. Se necesita contar, en primer lugar, con informaciones detalladas sobre el pavimento: solicitudes, materiales que lo componen y estado en que se encuentra. Además, se debe contar con informaciones sobre los parámetros necesarios para las decisiones: nivel de actuación, posibles estrategias, tecnología constructiva, modelos de deterioro, valoración económica de las actuaciones, etc. En particular, se requiere tener información de los siguientes aspectos relacionados con el pavimento:

- Tipo de pavimento, composición, características mecánicas y espesor.
- Actuaciones de conservación y rehabilitaciones efectuadas en el pasado.
- Evaluaciones visuales.
- Resultados de las auscultaciones.
- Estrategias de conservación posibles para cada estructura de pavimento considerada.

La evaluación técnica de los pavimentos persigue la identificación de los deterioros existentes en cada zona específica del puerto, con el objetivo de concretar el presupuesto necesario para reparar el pavimento, teniendo en cuenta las estrategias establecidas en cada zona como parte del proceso de gestión de la conservación. El problema se centra inicialmente en hacer un listado de los deterioros existentes en cada una de las unidades básicas en las que pueda haberse descompuesto la zona objeto de estudio y determinar un indicador de estado que represente la calidad del servicio prestado por el pavimento y sirva para estimar cuánto será necesario invertir para mejorarlo, asegurando los niveles de servicio deseados.

Se consideran dos niveles de evaluación, atendiendo a su amplitud:

- *En todo el puerto:* Se evalúa una muestra de cada zona portuaria para poder definir las prioridades de conservación comparando los indicadores que resultan de esta evaluación. En esta definición de prioridades debe influir no sólo el estado del firme sino también las cargas que soporta cada zona, por lo que se deben emplear varios indicadores de estado que tengan en cuenta estas consideraciones.
- *En una zona específica:* Se realiza con el propósito de poder redactar el proyecto de rehabilitación en las zonas seleccionadas como prioritarias, por lo

que deben realizarse unas evaluaciones técnica y económica detalladas.

Las actividades a realizar para la evaluación de los pavimentos portuarios deben seguir la siguiente secuencia:

- Determinar las diferentes zonas que existen en el puerto y clasificarlas como:
 - Lineales o no lineales.
 - De hormigón, asfálticas u otras.
- Establecer para cada zona la unidad básica de medida y definir la cantidad de estas unidades básicas que deben formar la muestra.
- Seleccionar de forma aleatoria las unidades básicas que formarán la muestra y que serán evaluadas. Cabe considerar una medición global para aquellos indicadores que el avance de la tecnología permita su evaluación completa con un coste y tiempo de medición/inspección razonable.
- Hacer un listado de los deterioros en las unidades básicas seleccionadas y determinar el indicador de estado en cada una de ellas.
- Obtener el indicador general en cada zona del puerto.
- Comparar entre sí los indicadores obtenidos en las distintas zonas, para decidir:
 - Prioridades.
 - Distribución de los recursos entre las zonas del puerto según su estado.
 - Mantener las estrategias generales o corregirlas para cada zona.

Una vez hecho esto, hay que evaluar cada zona específica considerada. Para ello deben seguirse las siguientes etapas:

- Realizar un listado de los deterioros en todas las unidades básicas que componen la zona y calcular el indicador de estado.
- Obtener el indicador general de la zona del puerto y el costo necesario para las reparaciones.
- Analizar el resultado de la evaluación y confeccionar el proyecto de reparación de la zona de acuerdo a los resultados y a la estrategia definida para la zona considerada.

En definitiva, el proceso a seguir se puede concretar en la siguiente hoja de ruta:

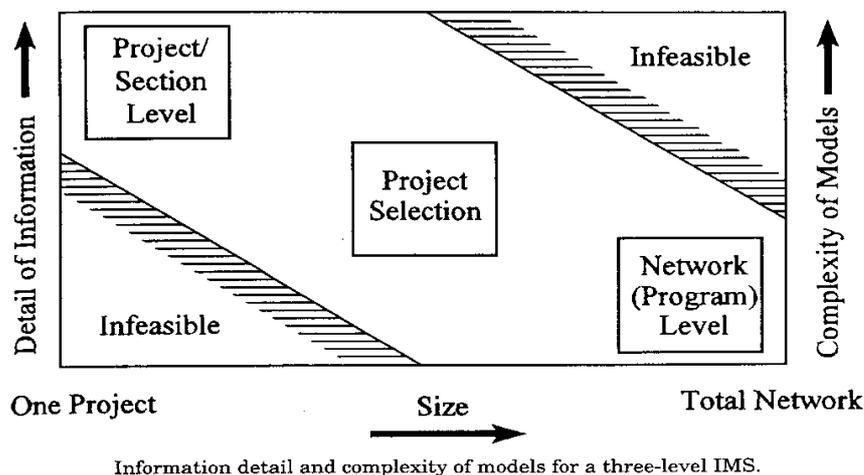
- 1º Definición del nivel de gestión.
- 2º Inventario de las superficies terrestres portuarias, agrupadas por zonas homogéneas de acuerdo con los siguientes factores:
 - Físicos.
 - Tipo de pavimento.

- Tipo de explanada.
 - Operativos.
 - Requisitos para su uso.
 - Solicitaciones.
 - Otros factores.
- 3º Definición de deterioros e indicadores:
- Catálogo de deterioros representativos del estado del pavimento en base a normativas o instrucciones contrastadas de acuerdo con el objetivo final.
 - Identificación de deterioros.
 - Método de valoración.
 - Análisis de las causas.
 - Indicadores.
 - Indicadores parciales que permitirán definir cuándo y cómo actuar.
 - Indicadores globales o combinados que reflejan el estado general de la infraestructura.
- 4º Métodos de evaluación.
- Métodos existentes.
 - Evaluación estadística o completa.
 - Superficial.
 - Funcional o de servicio.
 - Estructural.
 - Selección de procedimientos de valoración.
- 5º Definición de las hipótesis de evolución de los deterioros y características estructurales y funcionales de los pavimentos.
- 6º Definición de los niveles de calidad que se deben mantener.
- 7º Definición de las actuaciones de conservación y rehabilitación.
- Coste.
 - Mejora de los niveles de calidad después de su aplicación.
- 8º Generación de estrategias de actuación.
- Optimización.
 - Priorización.

El nivel y tipo de información necesario para la gestión depende en gran medida del

objetivo final y del nivel en que se encuadre, tal y como queda representado en la siguiente figura:

FIGURA 9.1 NIVEL Y TIPO DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE PAVIMENTOS



Fuente: Modern Pavement Management. Haas 1994

En la gestión de la conservación de los pavimentos portuarios es fundamental la definición de unos indicadores que permitan una valoración objetiva de su estado en cualquier momento. Esto permitirá realizar una asignación de los recursos económicos disponibles de un modo más eficiente.

En las zonas terrestres portuarias, las características y el comportamiento de los pavimentos condicionan de manera importante el buen funcionamiento de aquéllas. Por tanto, los criterios de explotación de estas zonas deben tenerse en cuenta al desarrollar la gestión de la conservación y, más concretamente, al definir los indicadores de estado del pavimento.

El objetivo es definir conceptualmente tres tipos de indicadores:

- Indicador de estado visual o superficial (IV).
- Indicador de estado estructural (IE).
- Indicador de satisfacción del usuario (IS).

Cada uno de ellos debe tener una formulación inicial definida y unos umbrales de actuación basados en la funcionalidad, en la conservación del patrimonio portuario y en las disponibilidades presupuestarias.

El indicador de estado visual o superficial (IV) ha de estar asociado a los deterioros observados en la inspección visual y a su concentración dentro de cada tipo de zona

portuaria. Se hará de acuerdo con un catálogo de deterioros que recoja los más significativos de cara a expresar posibles disfunciones en la forma de trabajar del pavimento. En principio cabe pensar que un mismo deterioro puede tener más importancia en una zona que en otra según la funcionalidad de ésta. Inicialmente se puede definir como una combinación lineal de indicadores parciales (establecidos directamente en la inspección visual), pudiendo variar entre 100 y 0 (valores indicativos respectivamente del estado óptimo y de la ruina total).

Por su parte, el indicador estructural del firme (IE) se ha de establecer en función de las mediciones llevadas a cabo en la auscultación con equipos de evaluación de la capacidad estructural. Como en el caso del indicador visual, hay que establecer también los umbrales de calidad del estado del firme y las medidas a adoptar en cada caso. Es necesario resaltar la gran importancia de las características de la explanada a la hora del futuro comportamiento estructural de un pavimento.

Finalmente, el indicador de la satisfacción de los usuarios es un parámetro que tiene unas connotaciones de gran importancia en la gestión portuaria, no sólo por lo que afecta a las relaciones de las autoridades portuarias con sus concesionarios, sino también por su influencia en la propia imagen del puerto e incluso en su rentabilidad. Es un parámetro delicado de establecer, teniendo en cuenta que hay que optimizar la relación entre la satisfacción del usuario y la eficacia de la explotación.

El indicador de satisfacción de los usuarios se determina en función de diversos factores entre los que se pueden incluir las mediciones de la auscultación de las características superficiales (presencia de irregularidades, textura, fricción, resistencia a la indentación, capacidad de drenaje superficial, etc.) del pavimento. Los valores del indicador han de poder reflejar distintos grados de satisfacción. Analizando su origen y su eventual relación con el estado estructural del firme pueden servir para organizar la auscultación y la toma de decisiones consiguiente.

Los umbrales de intervención correspondientes a los indicadores se han de expresar en función de la mayor o menor necesidad de intervención:

- Umbral de actuación conveniente.
- Umbral de actuación necesaria.
- Umbral de actuación imprescindible.

A su vez la mayor o menor necesidad de intervención viene definida por las consecuencias que puedan tener.

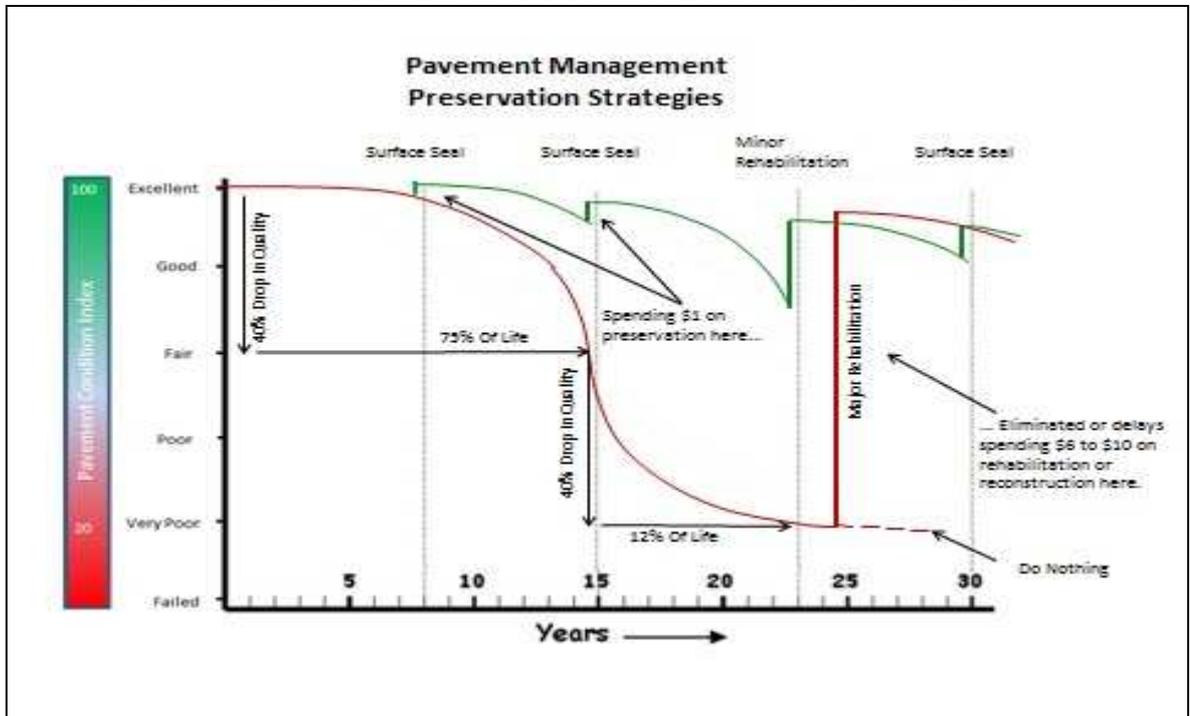
El ajuste de los umbrales de los indicadores estará asociado a la realidad portuaria. Los requisitos de operación junto con las consecuencias de las acciones en los indicadores,

las condiciones contractuales y la optimización económica permitirán fijar los umbrales a satisfacer.

La evaluación de los indicadores debe ser calculada anualmente en la totalidad de la superficie portuaria, estableciéndose algunas particularidades según la zona de que se trate.

Las curvas de evolución de las características o deterioros de pavimentos, habitualmente presentan formas sigmoidales (en forma de S) que reflejan una evolución inicial lenta, una aceleración intermedia, una inflexión y una deceleración final cuando el nivel alcanzado en la evolución es elevado.

FIGURA 9.2 ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DE LA CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS



Fuente: North Reading Town

9.3 ESTADOS LÍMITE

La degradación de los pavimentos portuarios sigue unos determinados modelos de evolución que es necesario valorar y medir de acuerdo con criterios de operatividad y funcionalidad portuarias. En este sentido, la definición de estados límite se hace completamente necesaria para definir de una manera eficiente la funcionalidad de las instalaciones portuarias.

El método de los estados límites trata de reducir a un valor suficientemente pequeño la probabilidad de que sean alcanzadas unas determinadas situaciones no admisibles para la actividad portuaria. El procedimiento de comprobación consiste en estimar, por una parte, el efecto de las acciones aplicadas y, por otra, la respuesta de la estructura correspondiente a la situación límite en estudio. Comparando estas magnitudes, y siempre que las acciones exteriores produzcan un efecto inferior al umbral correspondiente al estado límite, podrá afirmarse que está asegurado el comportamiento de la estructura frente al estado límite considerado.

Los estados límite están relacionados con la conservación del patrimonio, la seguridad estructural, el servicio y la explotación. Desde el punto de vista operativo y de gestión de la infraestructura, un pavimento se considera agotado cuando ya no cumple con las funciones para las que ha sido construido, es decir, cuando no puede servir de sustento a la operación portuaria. En este sentido, el grado de satisfacción del usuario final depende fundamentalmente del uso a que vaya a estar destinada la superficie en cuestión, y dentro del uso considerado las diferentes zonas contempladas tendrán diferentes grados de satisfacción.

El estado límite es el estado de proyecto en el cual la infraestructura en su conjunto, o alguno de sus tramos o elementos, queda fuera de uso o de servicio por incumplimiento de los requisitos de seguridad, de servicio y de explotación especificados en el proyecto. Es decir, son todos aquellos estados de proyecto en los que las combinaciones de factores de proyecto producen uno o varios modos de fallo o de parada operativa, que ocurren de la misma forma o con el mismo mecanismo.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, los estados límite se clasifican atendiendo a su relación con la seguridad estructural y formal (definen los modos de fallo estructural o formal de la infraestructura) o con la parada operativa (no hay fallo estructural, es decir, se trata de una situación en la que cuando cesa la causa que produce la parada se recuperan totalmente los requisitos de explotación). Se pueden clasificar los estados límites en tres tipos:

- Estado límite último.
- Estado límite de servicio.
- Estado límite operativo.

Los dos primeros están relacionados con la seguridad estructural y el servicio, y el último con la explotación. Estos estados límite se tendrán en consideración dependiendo del tipo de actividad que se esté estudiando dentro de un esquema general de decisión. En este sentido es necesario considerar las definiciones de parámetro, agente y acción de proyecto, conceptos que intervienen en la aplicación del método de los estados límite:

- Parámetro de proyecto: Conjunto de variables que caracterizan, en un determinado emplazamiento y en un determinado intervalo de tiempo, la geometría de la construcción y del terreno, las propiedades del medio físico, del terreno y de los materiales de construcción, en definitiva, el estado de una infraestructura.
- Agente: Todo aquello que puede ejercer o producir en o sobre una infraestructura y su entorno efectos significativos para su seguridad y el servicio. Aquellos agentes cuyo efecto sea predominante se denominan agentes predominantes.
- Acción: Cualquier efecto que un agente puede producir en una infraestructura y en su entorno como resultado de su mutua interferencia. En el término acción se pueden incluir la fuerza, la carga aplicada sobre la infraestructura, los movimientos o las deformaciones impuestas, etc.

Los estados límite últimos son los estados que producen la ruina por rotura o colapso estructural de la infraestructura o de una parte de ella. En este sentido se pueden considerar estados límites últimos los siguientes:

- Agotamiento resistente (se alcanza la capacidad resistente o se produce una deformación plástica excesiva).
- Acumulación de deformaciones plásticas.
- Fisuración progresiva.
- Fatiga bajo cargas repetidas.
- Deformación (modos de fallo en los que la infraestructura en su conjunto o alguno de sus elementos estructurales, alcanza cambios en su geometría que no garantiza su seguridad estructural).
- Escalonamientos excesivos entre losas.
- Degradación de las características superficiales.
- Combinación de factores que obligan a la reconstrucción de la infraestructura.

Los estados límite de servicio son los estados que producen una pérdida de funcionalidad de la infraestructura o de parte de ella, de forma reversible o irreversible, debido a un fallo estructural, estético, ambiental o por imperativo legal. En este sentido se consideran como estados límite de servicio los modos de fallo que reducen o condicionan el uso o explotación de la infraestructura y que pueden significar una reducción de su vida útil o de su probabilidad de supervivencia, debido, entre otras, a las siguientes posibilidades:

- Degradación de las propiedades de los materiales de construcción o del terreno.
- Deformaciones del pavimento que condicionan el uso o explotación de la infraestructura.
- Alteraciones geométricas acumulativas.

En cuanto a la posible clasificación de los estados límite de servicio, deben comprobarse en cada fase de proyecto los siguientes:

- Pérdida de durabilidad: la durabilidad es la capacidad de la infraestructura y de sus materiales de construcción para soportar sin alteraciones significativas de las especificaciones técnicas exigidas en el proyecto, durante cada una de las fases del proyecto, las acciones de los agentes del medio físico, terreno, construcción, uso y explotación; como posibles modos de fallo se pueden considerar la fisuración reversible, la corrosión, la abrasión, la pérdida de compacidad, etc.
- Alteraciones geométricas acumulativas: incluyen las situaciones alcanzadas por la infraestructura o alguno de sus elementos en las que se genera una acumulación de cambios geométricos que reduce o impide satisfacer los requisitos de servicio especificados en el proyecto; ejemplos son las deformaciones y erosiones del firme, la irregularidad longitudinal de las vías de comunicación o de las vías de los equipos de manipulación, etc.
- Fisuración excesiva: cuando las dimensiones geométricas de la fisura, aunque sean reversibles, pueden inducir fallos en el comportamiento del material u otros materiales protegidos, o se supera un valor admisible.
- Estéticos, ambientales y legales: cuando la obra incumple los requisitos de servicio por pérdida formal, de atractivo, ambiental o legal.

Es importante destacar que la diferenciación entre estado límite último y de servicio es algunas veces difícil, siendo la modalidad de fallo y la temporalidad los principales criterios para su clasificación. Así, cuando el modo de fallo responde a un deterioro o se produce por la acción de uno o varios agentes durante un intervalo de tiempo mucho menor que la vida útil de la obra, dicho modo de fallo debe adscribirse a un estado límite último; en otro caso se adscribirá a un estado límite de servicio.

Los estados límite operativos son todos los estados que pueden llevar a reducir o suspender temporalmente la explotación por causas externas a la infraestructura o a sus instalaciones, sin que se haya producido un daño estructural en ellas o en alguno de sus elementos. Una vez cesada la causa de la parada operativa, la infraestructura y sus instalaciones recuperan totalmente los requisitos de explotación del proyecto. Deben tomarse en cuenta los siguientes estados límite de parada operativa:

- Excedencia del valor umbral de uno o varios agentes: en este sentido cuando los agentes, normalmente climáticos, superan una cierta magnitud, de ellos o de sus acciones, denominada valor umbral, se debe parar la explotación, si no se quiere producir daños en la infraestructura, las instalaciones, los usuarios o el medio ambiente; una vez que el agente o su acción se manifiestan por debajo del valor umbral, el servicio puede ser restablecido (un ejemplo es la acumulación excesiva de agua en el pavimento que impida la operación de los equipos de manipulación adecuadamente).

- Efectos ambientales y repercusiones sociales inaceptables: incluyen los modos de parada realizados para evitar daños a las personas, al patrimonio histórico y artístico o al medio ambiente.
- Requisitos legales.

Los estados límite operativos sirven para evaluar las condiciones de explotación y de gestión de la infraestructura, por lo que deben ser analizados y evaluados en el proyecto. En lo que se refiere a los pavimentos portuarios, el principal objetivo de éstos, el servir de infraestructura óptima para el desarrollo de la explotación portuaria, debe definirse para el intervalo de tiempo considerado y en la fase de proyecto que se considere.

Una infraestructura está en servicio cuando cumple los requisitos funcionales (resistentes y formales) especificados en el proyecto y exigidos en la normativa vigente durante la ocurrencia de todos los estados que puedan presentarse en las fases de proyecto. Así, cuando un pavimento no es capaz de comportarse adecuadamente desde un punto de vista estructural y formal, se dice que no está en servicio o no es funcional.

Una infraestructura está en explotación cuando cumple los requisitos de uso, especificados en el proyecto y exigidos en la normativa vigente, durante la ocurrencia de todos los estados que puedan presentarse en las fases de proyecto. Así, cuando un pavimento no es capaz de comportarse adecuadamente desde un punto de vista de prestación de uso y explotación sin fallo estructural se dice que no está en explotación o no es operativo.

9.4 ACTUACIONES DE CONSERVACIÓN

Aunque el firme trabaje en buenas condiciones, pueden aparecer deterioros. Cuando éstos lleguen a afectar a una superficie relativamente amplia será necesario realizar una actuación de rehabilitación de carácter general. Mientras tanto se deben realizar reparaciones específicas de estos deterioros puntuales, deseablemente antes de que se hayan desarrollado de manera apreciable. Estas actuaciones han de tener por objetivo fundamental mantener un estado adecuado para el desarrollo de las operaciones portuarias.

Si no se actúa preventivamente, la superficie deteriorada del firme y la gravedad de los deterioros irán aumentando hasta alcanzar un estado en el que se considera que la vida del firme se ha terminado. En cierto momento de este proceso, se puede decidir prolongar la vida del firme realizando una actuación de rehabilitación para aumentar su capacidad estructural y/o funcional. Estas actuaciones consiguen retrasar la evolución de los deterioros y permiten que el firme pueda soportar un número de ciclos mayor que el inicialmente considerado. La decisión del momento en que se ha de ejecutar una actuación se puede afrontar de dos formas diferentes:

- Se puede considerar conveniente actuar antes del momento en el que se prevea que se va a producir el agotamiento del firme o una falta de funcionalidad. Esto es lo que se considera una actuación de carácter preventivo y conlleva actuaciones más baratas.
- La alternativa es actuar cuando el firme ya tiene un cierto nivel de agotamiento (actuaciones curativas). En este caso la estructura del firme sobre la que se actúa no trabaja ya de la forma en que fue proyectada, con una disminución considerable de las características resistentes y/o funcionales de la sección. Por tanto, para prolongar su vida, serán necesarias actuaciones más caras que las anteriores.

Además, otra razón para actuar puede ser un cambio en la explotación de la zona. Un aumento de la magnitud de las cargas provocado por nuevos vehículos más pesados que los anteriores producirá una importante disminución de la vida del firme. Esto hay que afrontarlo con una actuación que proporcione una capacidad estructural adicional a la que aporta el firme existente. Lo mismo ocurre si lo que aumenta es la frecuencia de aplicación de las cargas, hecho que puede venir provocado por un aumento de actividad en la zona.

También puede variar el modo operación, ya sea espacial o funcional. Este cambio puede necesitar de características funcionales o estructurales diferentes que invaliden el diseño existente.

Las actuaciones habituales de conservación de pavimentos portuarios son las siguientes:

- **ACTUACIONES ORDINARIAS EN PAVIMENTOS BITUMINOSOS**
 - **Bacheos y saneamiento de blandones**
 - Todas estas actuaciones de parcheo implican la sustitución del material de una zona deteriorada en una profundidad no menor que la capa de rodadura. Son operaciones aplicables a diferentes deterioros: baches, blandones, piel de cocodrilo.
 - **Sellado de grietas**
 - Esta técnica tiene por objeto:
 - Impermeabilizar la superficie del firme, evitando el paso de agua a las capas inferiores.
 - Evitar la presencia de materiales incompresibles en la grieta que pueden provocar deterioros localizados al cerrarse por efecto del aumento de temperatura.
 - Evitar la degradación de los bordes de las grietas, que

puede afectar a la regularidad superficial.

El sellado de grietas se realiza sobre aquéllas cuyo origen no sea el agotamiento por fatiga de la estructura del firme: las debidas a la retracción de capas tratadas, las debidas a efectos térmicos y las juntas de construcción. Como regla general, las grietas tratables mediante técnicas de sellado son las que no presentan movimientos verticales.

- **Fresado**
 - Es la eliminación mecánica mediante una fresadora del firme existente en la profundidad correspondiente a la capa de rodadura e incluso la capa intermedia.
- **Eliminación de exudaciones**
 - Esta operación tiene por objeto eliminar concentraciones excesivas de ligante en superficie que se pueden producir en mezclas bituminosas y, especialmente, en riegos con gravilla.
- **ACTUACIONES ORDINARIAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN**
 - **Reparaciones de pequeño espesor**
 - Esta actuación permite reparar deterioros situados en la parte superior de las losas (árido pulimentado, superficies descascarilladas o dañadas por causas mecánicas, aristas desconchadas, etc.).
 - **Sellado de juntas y de grietas**
 - El sellado tiene por objeto:
 - Impermeabilizar la superficie del firme, evitando el paso de agua a las capas inferiores, lo que es especialmente importante en firmes situados en zonas húmedas, con base erosionable y con tráfico pesado.
 - Evitar la presencia de materiales incompresibles en la grieta o en la junta que pueden provocar deterioros localizados al cerrarse la grieta o la junta por efecto del aumento de temperatura.

Por un lado, se deben resellar las juntas ya selladas que hayan perdido la estanquidad. Además, se sellarán las juntas no selladas que estén en una zona donde aparezcan deterioros en el firme que pueden estar relacionados con el agua.

En cuanto a las grietas estructurales, se deben sellar las grietas con una abertura mayor de 0,5 mm. Las grietas finas con una

abertura inferior a 0,5 mm no será necesario sellarlas pues no dejarán entrar una cantidad apreciable de agua; las grietas de retracción (plásticas) tampoco será necesario sellarlas pues son superficiales y asimismo en los pavimentos continuos de hormigón armado aparecen grietas transversales que no necesitan sellado pues son finas y no evolucionan bajo tráfico.

- **Cosido de grietas**
 - El cosido de grietas pretende la reparación de grietas longitudinales con una pequeña abertura. De esta forma se evitan posteriores reparaciones más costosas. Esta técnica puede llevarse a cabo mediante la colocación de grapas, mediante la inserción transversal de barras de atado o de pasadores.
- **Reparación a espesor completo. Sustitución de losas**
 - Esta actuación permite reparar deterioros profundos en juntas, bloques inestables o grietas muy anchas en pavimentos de hormigón.
- **Recalce de losas**
 - Esta operación permite eliminar huecos existentes bajo las losas. Esa falta de apoyo puede producir movimientos verticales relativos entre losas adyacentes y, en definitiva, un escalonamiento entre los bordes de esas losas.

El problema se puede subsanar mediante la inyección de lechada bajo las losas. Esta inyección se puede realizar a presión y en vacío. Las lechadas utilizadas para la inyección son generalmente de cemento.

- **Levantamiento de losas**
 - En el caso de losas asentadas o hundidas se puede proceder a corregir su nivel mediante dos métodos. El primero permite restablecer el nivel correcto de la losa mediante la inyección de lechada a presión. El segundo tipo de operación consiste en el levantamiento de la losa por medios mecánicos, generalmente mediante gatos hidráulicos.

- **Fresado**
 - Consiste en la utilización de máquinas dotadas de una batería de discos con un material abrasivo en la periferia mediante las cuales se elimina el material sobrante en el pavimento. Este material se puede eliminar por problemas de regularidad superficial (escalonamiento, roderas, etc.) o de pérdida de textura.

- **ACTUACIONES ORDINARIAS EN ADOQUINADOS**
 - **Sustitución localizada**
 - Esta operación consiste en la sustitución de una serie de adoquines. Esto puede venir obligado por su mal estado (no se reutilizan) o por la necesidad de realizar actuaciones en las capas inferiores del pavimento (se reutilizan).

 - **Retexturado**
 - Para recuperar la textura superficial se puede recurrir en primer lugar al fresado. En general, se puede fresar donde el elevado tráfico haya dejado una superficie deslizante que con lluvia pueda resultar peligrosa. Se utilizará pequeñas fresadoras manuales destinadas a este tipo de trabajos. Para recuperar la textura superficial se recurre a veces a tratar la superficie con chorro de arena.

 - **Resellado**
 - En zonas donde se pierda la arena de las juntas por diversos motivos, será necesario actuar para evitarlo. Esta pérdida se puede deber a fuertes escorrentías o, a veces, a los gases de propulsión de los equipos de manipulación. Para evitarlo, se puede extender un producto sellador. Estos productos, además de evitar la pérdida de la arena, permiten aplicar efectos estéticos (brillo, intensificación del color, etc.) y constituyen un tratamiento antimanchas. Esta última función es especialmente importante para zonas pesqueras o cercanas a contenedores de basura. Los selladores pueden ser, por ejemplo, de poliuretano o acrílicos.

- **REHABILITACIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS BITUMINOSOS**
 - **Recrecimiento**
 - Es una técnica de rehabilitación estructural de un firme consistente en extender sobre él una o varias capas de materiales

nuevos con espesor suficiente para producir un aumento significativo de la capacidad estructural. El espesor a aplicar será función del estado del firme, de las sollicitaciones que se van a aplicar y del período de proyecto que se asigne a la operación.

○ **Fresado**

- En algunos casos, antes de la extensión de la capa de recrecimiento será necesario realizar un fresado de una o más capas del firme existente. Esto puede ser debido al mal estado de los materiales existentes o a problemas de gálibo o de cotas. Para ello se realizarán las pasadas necesarias para eliminar el material en la profundidad preestablecida. Se utilizarán máquinas fresadores como las descritas anteriormente.

○ **Reciclado**

- Esta técnica permite mejorar la capacidad estructural del firme reutilizando los materiales del firme antiguo en su totalidad o en parte. Los tipos de reciclado más utilizados son el reciclado en central en caliente y el reciclado in situ en frío. El primero comienza con el levantamiento del material de la capa que se quiere reciclar mediante fresado u otro procedimiento. Este material se traslada a una central de fabricación de mezcla bituminosa. Allí se realiza un machaqueo y una clasificación granulométrica. A continuación, se mezcla el material viejo con áridos y ligantes nuevos y eventualmente agentes rejuvenecedores. El producto obtenido se utiliza en capas inferiores, aunque también se puede utilizar en capas de rodadura. El reciclado in situ en frío consiste en el aprovechamiento de los materiales de firmes con graves deficiencias estructurales sin trasladar los materiales fuera de la carretera. Para ello se utiliza una maquinaria que de una sola pasada levanta y tritura el firme antiguo, incorpora el ligante nuevo y, en ocasiones, agrega árido de aportación. De esta forma se consigue un material similar a una grava-emulsión (añadiendo emulsión bituminosa) o a un suelo-cemento (añadiendo cemento).

○ **Reconstrucción parcial**

- Esta operación se suele realizar cuando hay zonas que se encuentran en un estado mucho peor que el resto. La operación consiste en la reposición del firme en su totalidad. Puede incluir el tratamiento de la explanada (estabilización con cal o cemento, sustitución de materiales o disposición de un geotextil). Cuando un firme se encuentre agotado en su totalidad, se tendrá que tener en

cuenta la posibilidad de realizar un recrecimiento o un reciclado. Sólo cuando estos no sean viables se considerará la realización de esta operación en toda la superficie considerada. Esto podría venir dado por condicionantes económicos, técnicos o funcionales (gálibo, cotas, etc.). Esta operación está fundamentalmente indicada cuando el estado en que se encuentran las distintas zonas de la superficie considerada.

- **REHABILITACIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN**
 - **Inserción de pasadores**
 - Es un método de mejora de transferencia de cargas más trabajoso que la inserción de conectores. Consiste en disponer barras lisas de 25 mm de diámetro y 50 cm de longitud perpendicularmente a una junta cuya transferencia de cargas se quiere mejorar y a la mitad del espesor de la losa. Se disponen los pasadores separados entre sí 30 cm.
 - **Inserción de conectores**
 - Es otro método de mejora de la transferencia de cargas. Consiste en extraer un cilindro de material en la junta, e introducir un dispositivo que aumente la transmisión de tensiones de una parte a otra de la junta.
 - **Recrecimiento con mezcla bituminosa u hormigón**
 - Consiste en la extensión de una o varias capas de mezcla bituminosa o de una capa de hormigón. En primer lugar, hay que conseguir que las losas antiguas queden perfectamente asentadas. Para ello se pueden romper las losas en 4 o 6 partes o realizar una inyección de los huecos bajo ellas. Si el recrecimiento va a ser de mezcla bituminosa, se debe disponer un adecuado tratamiento antirreflexión de fisuras. Finalmente, se extiende un espesor de mezcla bituminosa entre, o de hormigón. Este espesor depende de las solicitaciones previstas, del estado del firme y de la duración para la que se proyecta la actuación.
 - Esta operación presenta como ventaja frente a la reconstrucción que mantiene una sección transversal homogénea en cuanto a características superficiales. Sin embargo, puede presentar problemas en zonas con limitaciones de cotas o gálibo.
 - **Reconstrucción parcial**

- **REHABILITACIONES SUPERFICIALES DE PAVIMENTOS BITUMINOSOS**

Las operaciones destinadas a resolver estos problemas de características superficiales suelen consistir en la aplicación de un tratamiento superficial de uno u otro tipo, salvo que existan irregularidades importantes en cuyo caso hay que ir a aplicaciones de mayor espesor.

- **Riego con gravilla**
 - Esta operación consiste en la extensión de un riego bicapa cuyo objetivo es dotar al firme de ciertas características superficiales (textura, impermeabilidad, etc.), sin aumentar la capacidad resistente ni actuar sobre la regularidad superficial. El riego bicapa o doble tratamiento superficial consiste en dos aplicaciones sucesivas de ligante (emulsión bituminosa de rotura rápida) y gravilla. El espesor varía según los áridos empleados, pero en general es menor de 2 cm.
- **Lechada bituminosa**
 - Al igual que los riegos dota al firme de textura e impermeabilidad, no aportando capacidad estructural adicional ni mejora de la regularidad.
- **Extensión de mezcla bituminosa en pequeño espesor**
 - Consiste en la extensión de una capa de mezcla bituminosa de menos de 4 cm de espesor. Se diferencia con los tratamientos anteriores en que puede actuar ligeramente sobre la regularidad.

- **REHABILITACIONES SUPERFICIALES DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN**

- **Riego con gravilla**
- **Lechada bituminosa**
- **Extensión de mezcla bituminosa en pequeño espesor**
- **Ranurado y cepillado**
 - El ranurado es una operación que consiste en trazar una serie de surcos paralelos en la superficie del firme con tambores de discos de diamante o de carborundo. De esta forma se consigue una macrorrugosidad que mejora la resistencia al deslizamiento. El ranurado puede ser transversal o longitudinal.

- **Métodos químicos**
 - Esta operación consiste en la realización de decapados con la utilización de ácidos, dejando el árido a la vista. La ventaja es que es un procedimiento sencillo y rápido. Su inconveniente es que su efectividad depende de las características de resistencia al pulimento del árido del pavimento.

- **Chorro de granalla**
 - Esta operación consiste en la proyección de pequeñas bolas de acero sobre la superficie del pavimento. De esta forma se limpia la superficie del firme dejando a la vista el árido (macrorrugosidad) y golpeándolos sin romperlos (microrrugosidad).

9.5 PLAN DE CONSERVACIÓN

Todo lo anteriormente mencionado se debe plasmar en un Plan de Conservación donde se contemplen no sólo las actuaciones de conservación ordinaria sino también las actuaciones de conservación extraordinaria (rehabilitaciones y renovaciones).

Este plan contemplará tanto las necesidades del momento como aquellas preventivas o curativas a lo largo del ciclo de vida previsto de los pavimentos.

No se puede olvidar contemplar en el plan actuaciones que posibiliten el cumplimiento, si fuera el caso, de las condiciones de reversión.

Estos planes deberían actualizarse al menos quinquenalmente.

ÍNDICE

A.1 Introducción

A.2 Métodos analíticos

 A.2.1 Hipótesis de Burmister

 A.2.2 Hipótesis de Westergaar

 A.2.3 Fases del procedimiento

 A.2.4 Características mecánicas de los materiales y condiciones de contorno

 A.2.4.1 Explanada

 A.2.4.2 Capas granulares

 A.2.4.3 Capas tratadas con conglomerantes hidráulicos

 A.2.4.4 Mezclas bituminosas y materiales estabilizados con ligantes bituminosos

 A.2.4.5 Hormigones

 A.2.5 Condiciones de adherencia entre capas

 A.2.6 Verificación

A.3 Métodos empíricos

A.4 Metodología adoptada en estas recomendaciones

 A.4.1 Estudio de las cargas

 A.4.1.1 Cargas de almacenamiento

 A.4.1.2 Cargas de operación

 A.4.1.3 Coeficiente de paso de carga en centro de losa a carga en borde para el uso del modelo elástico semi-infinito

 A.4.2 Rotura por fatiga

 A.4.3 Consideración sobre el modo de fallo

 A.4.4 Proceso de diseño de un pavimento portuario

A.5 Referencias específicas

A.1 INTRODUCCIÓN

El dimensionamiento de un firme se puede abordar según dos caminos diferentes:

- Considerando los factores básicos de dimensionamiento (tráfico, explanada, características de los materiales y variables climáticas) de manera explícita, con el objetivo, como en el cálculo tradicional de estructuras, de determinar tensiones, deformaciones y desplazamientos, comparando estos resultados con los valores admisibles. Este enfoque es el de los métodos analíticos de dimensionamiento.
- Implícitamente, considerando todos esos factores globalmente en un proceso basado fundamentalmente en la experiencia sobre el comportamiento de los firmes. Así es como se hace en los métodos empíricos de dimensionamiento.

Desde un punto de vista práctico, estos últimos se presentan en tablas, gráficos, ábacos o catálogos de secciones estructurales; los métodos analíticos requieren, en cambio, la realización directa de cálculos. Sin embargo, ambos grupos de métodos han experimentado un acercamiento progresivo en los últimos años: una buena parte de los denominados métodos empíricos se sustentan no sólo en el análisis de la experiencia disponible, sino en cálculos que sirven para poner de manifiesto la influencia cuantitativa de las distintas variables; por su parte, los métodos analíticos requieren un contraste con la experiencia, tanto en lo que se refiere a la elección de los parámetros de cálculo como, sobre todo, al análisis de los resultados e incluso los propios modelos empleados requieren una verificación o contraste con la realidad.

En estas Recomendaciones se propone un método empírico de dimensionamiento estructurado en forma de catálogo de secciones de firme. Este método ha sido elaborado bajo consideraciones tanto empíricas como analíticas.

A.2 MÉTODOS ANALÍTICOS

Los métodos analíticos de dimensionamiento se basan en el estudio del estado de tensiones y deformaciones producido por las sollicitaciones que se tengan en cuenta (cargas, temperaturas, etc.) con posteriores consideraciones sobre lo que significa dicho estado en el deterioro de la sección estructural. Un método analítico consta por tanto de dos componentes: un modelo de respuesta y un análisis de deterioro.

Los modelos de respuesta se pueden clasificar en tres grandes familias: modelos mecánicos, de regresión y probabilistas, siendo los primeros los de empleo más generalizado. Existen tres tipos de modelos mecánicos según los principios de modelación geométrica y de cálculo en los que se basan: sistemas multicapa, teoría de placas y métodos numéricos (elementos finitos, por ejemplo). Por otro lado, pueden clasificarse según las ecuaciones constitutivas de los materiales: modelos elásticos y visco-elásticos. Hasta el presente, el mayor desarrollo para firmes flexibles y semirrígidos lo han alcanzado los modelos basados en sistemas multicapa y ecuaciones elásticas (hipótesis de Burmister); en cambio, para los firmes rígidos los métodos más usuales se basan en la teoría de placas y en las ecuaciones elásticas (hipótesis de Westergaard) así como en métodos numéricos de elementos finitos.

A.2.1 HIPÓTESIS DE BURMISTER

En resumen, estas hipótesis son las siguientes:

- El firme se representa geoméricamente como una estructura constituida por una serie de capas horizontales paralelas, indefinidas en planta y de espesor constante, apoyadas en un espacio semi-indefinido de Boussinesq.
- Cada capa se comporta como un medio elástico lineal, homogéneo, isótropo y continuo. Se caracteriza mecánicamente por su módulo de elasticidad y su coeficiente de Poisson.
- Cada una de las cargas que actúan sobre el firme, por ejemplo las ruedas de un vehículo, se representa mediante una presión, en general vertical, distribuida uniformemente sobre un área circular.
- Cada capa se apoya sobre la subyacente de forma continua. El contacto entre capas puede modelarse en condiciones de adherencia total (igualdad de deformaciones horizontales) o nula.
- Se desprecian las fuerzas de inercia y los efectos térmicos.
- Las deformaciones que se producen en el sistema son pequeñas
- No se suelen considerar los esfuerzos cortantes que se producen en las zonas de contacto entre las cargas y la superficie del pavimento, debido a que salvo en casos excepcionales son prácticamente despreciables.

Con estas hipótesis, las ecuaciones en derivadas parciales que resultan del planteamiento del problema se resuelven mediante transformadas. La respuesta de la estructura se obtiene entonces en forma de integrales definidas que se resuelven numéricamente. Para ello se utilizan los correspondientes programas de ordenador, de los que existen muchas versiones en el mercado.

Las limitaciones de los modelos desarrollados bajo estas hipótesis tienen su origen en las mismas y pueden resumirse de la siguiente forma:

- La sección del firme se representa con simetría de revolución, es decir, tanto las cargas como el propio firme se suponen simétricos alrededor de un eje. Los efectos de las cargas producidas por los neumáticos en las proximidades de grietas o de bordes no pueden por tanto analizarse utilizando estos métodos; tampoco puede analizarse directamente el efecto de cargas cuya huella de contacto no es circular, como ocurre con los contenedores o con los apoyos delanteros de los semirremolques. Aunque podrían utilizarse modelos tridimensionales, aplicando un método de elementos finitos, estos no son prácticos debido a la gran cantidad de tiempo de planteamiento, cálculo y análisis de los resultados que requieren. No obstante, en el diseño de este catálogo se ha empleado este método para calibrar el modelo multicapa elástico semi-infinito aplicado a firmes discontinuos tales como el formado por losas de hormigón.
- Inicialmente se desprecian las fuerzas de inercia que se desarrollan en cada elemento del firme debido a las cargas dinámicas. El no considerarlas puede no ser aceptable en el caso de vehículos circulando a baja velocidad y materiales granulares o mezclas bituminosas y en el de vehículos que en sus movimientos realizan giros muy bruscos. Por ello sí se han considerado coeficientes que mayoran las solicitaciones en los casos mencionados.
- Todos los materiales utilizados en construcción de firmes son en mayor o menor medida anisótropos, heterogéneos, no lineales y no elásticos; algunas de sus propiedades dependen del tiempo y se ven afectadas por cambios ambientales, como la temperatura o la humedad. Por tanto, para calcular tensiones y deformaciones de forma más precisa sería necesario el empleo de teorías complejas no lineales. La aplicación de la teoría elástica ha demostrado ser de todos modos suficientemente válida en la práctica.

A.2.2 HIPÓTESIS DE WESTERGAARD

Estas hipótesis, aplicables a los pavimentos de hormigón, se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Se supone que la losa es de espesor uniforme y que se comporta como un medio elástico lineal, homogéneo, isótropo y continuo, caracterizado mecánicamente por su módulo de elasticidad y su coeficiente de Poisson.
- La losa está en equilibrio bajo la acción de las cargas del tráfico, su peso propio, las reacciones de las losas contiguas y la del apoyo.
- La reacción del apoyo se considera en cada punto proporcional al desplazamiento vertical del mismo (macizo de Winkler) con una constante de proporcionalidad denominada módulo de reacción o de balasto.

Tanto en las fórmulas establecidas por Westergaard como en las modificaciones posteriores de las mismas un parámetro fundamental es el denominado radio de rigidez relativa, el cual viene dado por la siguiente expresión:

$$I = \left[\frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot K} \right]$$

siendo:

I: radio de rigidez relativa (m).

E: módulo de elasticidad del hormigón (MPa). h: espesor de la losa (m).

ν : coeficiente de Poisson del hormigón.

K: módulo de reacción del apoyo (MPa/m).

En el caso de una carga circular, las tensiones máximas en la losa para las distintas posiciones de aquella vienen dadas por expresiones del tipo siguiente:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{Q}{h^2} \cdot f \cdot \left(\frac{I}{a} \right)$$

siendo:

Q: magnitud de la carga circular (N).

a: radio de la carga (m).

La principal ventaja de este método es que permite con facilidad el estudio de las tensiones provocadas por cargas situadas en las proximidades de los bordes de las losas.

A.2.3 FASES DEL PROCEDIMIENTO

El desarrollo práctico de los métodos basados en hipótesis como las indicadas comprende las siguientes etapas:

- Evaluación de las sollicitaciones (aisladas o repetidas; estáticas o dinámicas, etc.) durante la vida útil del firme, evaluación de los efectos de las diversas acciones (cargas de cálculo) e integración de dichos efectos.

- Modelación de la sección estructural del firme mediante:
 - en el caso de firmes flexibles y semirrígidos, un sistema multicapa teórico con una serie de hipótesis de comportamiento para poder ser calculado, de forma práctica, mediante un programa de ordenador (hipótesis de Burmister).
 - en el caso de firmes rígidos, una placa apoyada sobre un macizo de Winkler (hipótesis de Westergaard).
- Selección de materiales a emplear en las distintas capas y estimación de los espesores necesarios.
- Análisis de la sección para determinar las tensiones, deformaciones y desplazamientos máximos que se pueden producir.
- Comparación de estos valores con los admisibles para cada material, según el criterio de deterioro considerado.
- Comprobación mediante dicho criterio de que cada capa puede llegar al final de la vida útil con un nivel de deterioro admisible y similar al del resto de las capas.
- Si no ocurre lo anterior, es necesario efectuar un nuevo cálculo modificando los espesores o las características resistentes de las capas, de tal manera que cada una de ellas alcance un deterioro admisible y similar al final de la vida útil.
- Comparación de los costes de las distintas opciones viables para elegir entre ellas la más económica para cada situación.

A.2.4 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS MATERIALES Y CONDICIONES DE CONTORNO

A.2.4.1 EXPLANADA

El tipo de relleno que se ha utilizado, así como las características de los fondos sobre los que se apoya y de la coronación de dicho relleno, son fundamentales para elegir la sección estructural del pavimento y, en particular, para decidir sobre el eventual empleo de capas de base y/o sub-base. En estas recomendaciones, tomando como punto de partida que uno de los principales condicionantes en el comportamiento estructural de un firme es la capacidad de soporte de los materiales subyacentes, se prescribe llegar a que el pavimento se apoye sobre una capa que asegure en su superficie unos módulos de compresibilidad E_{v2} mínimos de 300 MPa. En la Parte 4 de estas Recomendaciones se especifica el procedimiento y materiales para que, partiendo de unos rellenos bien ejecutados de acuerdo con la ROM 0.5, se llegue siempre a una superficie de apoyo del pavimento que tenga esa capacidad portante mínima de 300 MPa.

De esta manera se garantiza un buen comportamiento y durabilidad del firme independientemente de la tipología y características del mismo. Asimismo, esta metodología se facilita el análisis comparativo de las distintas alternativas posibles.

Para llegar a lo anterior los valores definitivos de la explanada deben tomarse en función de los resultados de campo obtenidos mediante ensayo de carga con placa. Como también se dijo, si no se alcanzan los valores establecidos en proyecto, se deberá o bien realizar modificaciones del mismo para adaptarse a estos nuevos valores y seguir así calculando, o bien incrementar el espesor o tipo de la capa de coronación (o el grado de compactación), de tal forma que, en última instancia, los valores de diseño del módulo de compresibilidad reales y de proyecto coincidan.

En el caso en el que se desconozca el valor del índice CBR que podría alcanzar nuestro relleno, se debe trabajar con la tabla siguiente que recoge, en función del tipo de relleno en cimentación y de los materiales en coronación, el tipo de explanada en el que nos encontramos, clasificando a la misma en las siguientes categorías:

E1 – Explanada aceptable

E2 – Explanada buena

E3 – Explanada muy buena

TABLA A.1 DETERMINACIÓN DE CATEGORIA DE EXPLANA

TIPO DE EXPLANADA (*)	RELLENO		
	Relleno Malo Consolidado (MC)	Relleno Regular Consolidado (RC)	Relleno Bueno Consolidado (BC)
Suelos adecuados		E1 (50)	E1 (50)
Suelos seleccionados	E1 (57)	E2 (108)	E2 (127)
Suelos seleccionados con CBR>20 o Todo- uno o Pedraplén	E1 (73)	E2 (135)	E3 (159)

Fuente: Elaboración propia

(*) Se indica también el valor del módulo de compresibilidad E_2 (en MPa) a considerar en cálculos para cada tipo de explanada, en función del tipo de relleno y del material en

coronación.

Se hará uso de la tabla anterior para obtener de forma aproximada los valores de módulo de compresibilidad que presumiblemente se alcanzarían, si únicamente fuera conocido el tipo de relleno y el material en coronación, es decir, si no se dispusiese de datos sobre CBR del propio relleno.

El rango de valores entre los que varía el módulo de compresibilidad E2 para cada categoría de explanada será el siguiente:

- E1: $E2 > 50$ MPa
- E2: $E2 > 100$ (MPa)
- E3: $E2 > 150$ MPa

Estas aproximaciones teóricas al módulo de compresibilidad final de las explanadas, pueden seguirse en fase de proyecto para aproximar el tipo y espesor de las capas de firme que se construirán sobre la explanada. Una vez en fase de ejecución, se deberán realizar ensayos de carga con placa para conocer realmente los valores del módulo de compresibilidad en el segundo ciclo del ensayo. Con dichos valores reales se realizará un reajuste de espesores de materiales a disponer en capas de firme, de tal forma que se aseguren capacidades portantes de los firmes portuarios, a la vez que se optimiza la cantidad de materiales a emplear.

Debe tenderse en cualquier caso a la obtención de la mayor categoría posible de explanada, recurriendo a la consolidación del relleno o en su caso, a tratamientos de mejora y estabilización de las capas de coronación; todo ello es tanto más importante cuanto mayor sea la categoría del tráfico.

El siguiente paso una vez se tienen valores del módulo de compresibilidad de la explanada, será calcular el espesor de las capas de base que constituirán los firmes portuarios.

Como se indicaba anteriormente, se exige un valor mínimo de 50 MPa al módulo de compresibilidad de la explanada en el segundo ciclo del ensayo de carga con placa (E2), el cual corresponde a una explanada del tipo E1.

El criterio adoptado para el dimensionamiento, es el de usar capas granulares de subbase que incrementaran la capacidad resistente de la explanada (en el supuesto de que la misma no sea ya explanada E3) de tal forma que nos encontremos en todo momento en un tipo de explanada con módulo de compresibilidad E2 mínimo de 150 MPa.

Por tanto, para la obtención de explanadas de mayor calidad tipo E3, sobre las que ejecutar las diferentes capas de base y pavimento, se puede proceder de dos formas:

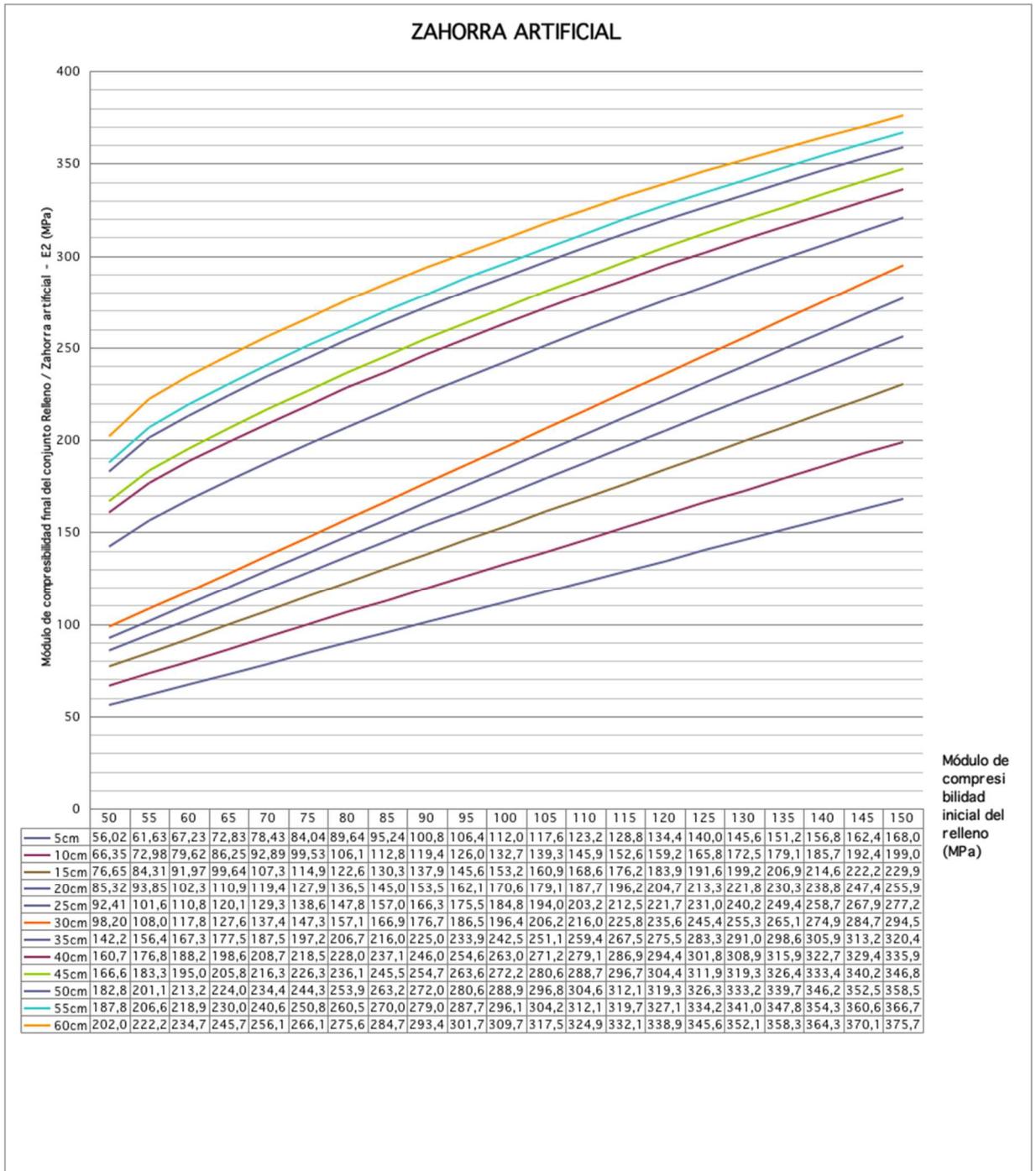
- La primera de ellas es hacer uso de técnicas de mejora de terrenos más intensas y sofisticadas, a la vez que se usan materiales en coronación de explanada de mayor calidad.
- Otra forma de alcanzar explanadas del tipo E3, si nos encontramos en explanadas con módulos de compresibilidad E2 menores a 150 MPa, será mediante el recrecido con capas de zahorra artificial, las cuales formarán parte en última instancia de las capas de subbase del firme portuario.

A continuación, se representa un gráfico en la que se relacionan los posibles módulos iniciales de compresibilidad de la explanada en el segundo ciclo del ensayo de carga con placa (E2), con los módulos resultantes tras la aplicación de una capa de diferentes espesores de zahorra artificial. Debemos indicar que los valores del módulo de compresibilidad inicial de la explanada en la gráfica mostrada a continuación (eje de abscisas), varían entre los 50 y 150 MPa, rango en el que se encuentran los 3 tipos de explanadas E1, E2 y E3. Por otro lado, indicar también que los espesores de zahorra artificial varían en intervalos de 5cm, entre 5 y 60cm. No obstante, siempre deberían considerarse espesores no inferiores a 10-15 cm.

El objetivo perseguido con el sistema propuesto es el de dar recomendaciones al proyectista

de la manera en la que alcanzar una explanada del tipo E3, con un módulo de compresibilidad de 150 MPa, partiendo de valores inferiores, sin más que recrecer con capas de zahorra artificial, cuyo espesor puede ser obtenido de la gráfica siguiente:

FIGURA A.1 MEJORA DEL MÓDULO DE COMPRESIBILIDAD DE LA EXPLANADA UTILIZANDO ZAHORRA ARTIFICIAL



Fuente: Elaboración propia

Una vez dimensionada la capa de subbase sobre la que se asentará la base y pavimento del firme, debemos proceder a aproximar el espesor de la capa de base. Con dicha capa de base se pretende que el pavimento se apoye sobre una capa que asegure en su

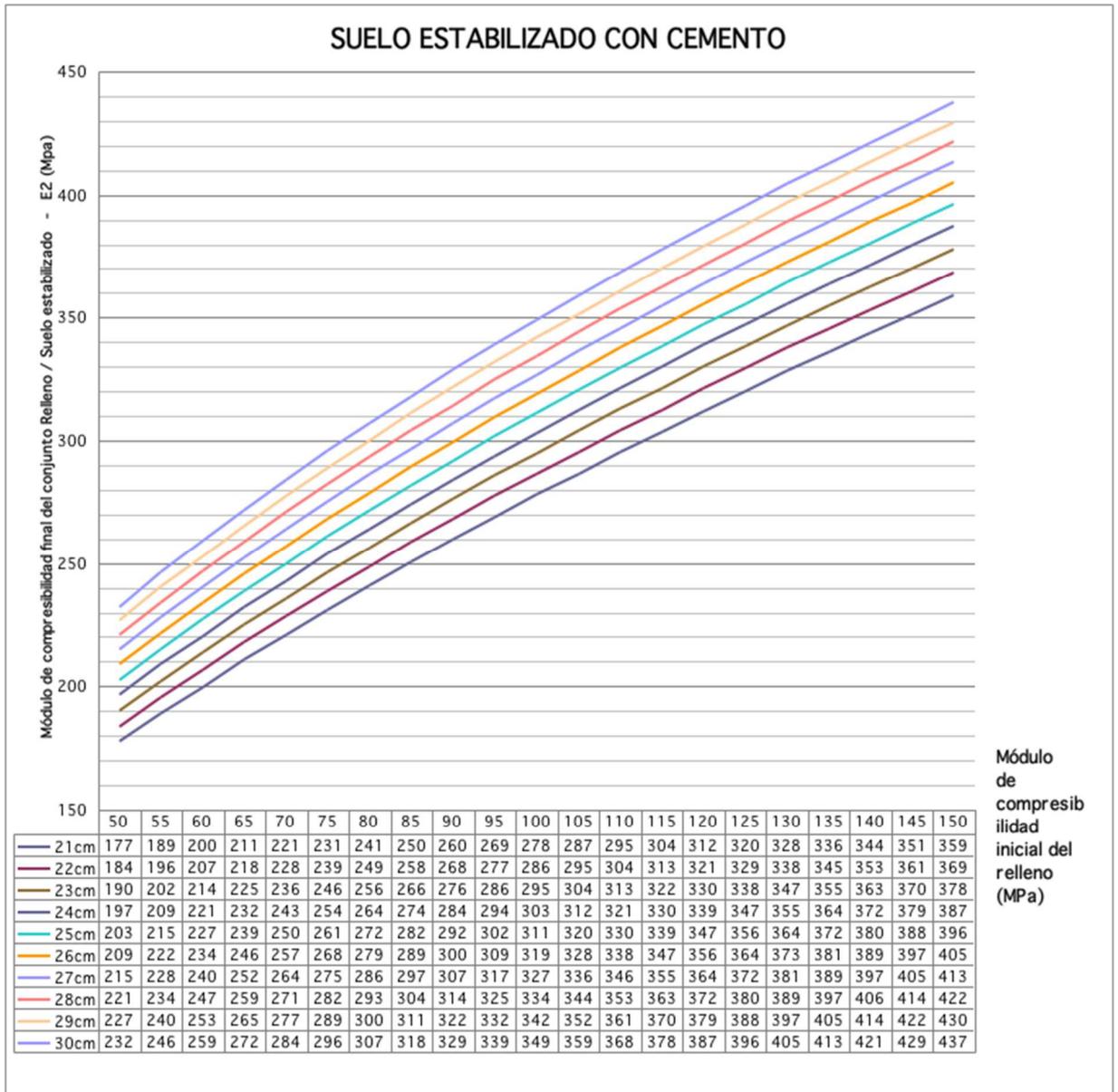
superficie de unos módulos de compresibilidad E2 mínimos de 300 MPa.

Dicha capa de base se ejecutará también mediante zahorras artificiales, y por tanto se sumará al espesor obtenido para capas de subbase, de tal forma que base y subbase constituya una única capa de zahorra artificial, la cual cumplirá las especificaciones técnicas dadas en el capítulo correspondiente, tanto sobre espesores de tongadas en compactación, como de métodos y formas de puesta en obra.

De la gráfica anterior se deduce que una explanada con módulo de compresibilidad de 150 MPa, necesita de 35cm de zahorra artificial para elevar el valor de dicho módulo a los 300 MPa.

Por otro lado, se da también la opción de obtener explanadas con la suficiente capacidad portante como para alojar directamente las diferentes capas de pavimento (módulo de compresibilidad de 300 MPa), haciendo uso en capas inferiores, en lugar de zahorras artificiales, de suelos estabilizados del tipo 3 (S-EST3). En la gráfica siguiente se muestra la forma en la que, al igual que hacíamos anteriormente para zahorras artificiales, se puede mejorar la capacidad portante de la explanada, mediante las ya mencionadas capas de suelo estabilizado. En este caso, se pasará directamente de explanadas del tipo E1, E2 o E3, mediante capas de suelo estabilizado, a explanadas con módulo de compresibilidad de 300 MPa.

FIGURA A.2 MEJORA DEL MÓDULO DE COMPRESIBILIDAD DE LA EXPLANADA UTILIZANDO SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la gráfica anterior, explanadas con módulos de compresibilidad menores a los 80 MPa, no ofrecen la posibilidad, mediante recrecido con suelos estabilizados, de emplearse como capas de base para pavimentos, pues según se observa, con un máximo de 30cm de espesor, no es posible alcanzar los 300 MPa requeridos. Espesores mayores a los 30cm de suelo estabilizado no son recomendables habituales, pues dificultan la puesta en obra y podrían aumentar los encarecen costes de ejecución, aunque se ha llegado a estabilizar con garantías de calidad hasta espesores de 40 cm.

Si lo que se pretende es recrecer con suelo estabilizado para así llegar a módulos de compresibilidad de 300 MPa, deberíamos en primera instancia asegurar una capacidad portante inicial de la explanada de 80 MPa, lo cual se podría conseguir, como ya se dijo anteriormente, con zahorras artificiales, sin más que entrando en la gráfica correspondiente, anteriormente mostrada, o estabilizando la capa inferior.

La cota de la explanada deberá quedar al menos a 60 cm por encima del nivel más alto previsible del Nivel freático donde el macizo de apoyo esté formado por suelos seleccionados o estabilizados; a 80 cm donde esté formado por suelos adecuados; a 100 cm donde sean

tolerables, y a 120 cm donde sean marginales o inadecuados. A tal fin se adoptarán medidas tales como la elevación de la cota de la explanada, la colocación de drenes subterráneos, la interposición de geotextiles o de una capa drenante, etc., asegurando además la evacuación del agua que se pueda infiltrar a través del firme de la calzada y de los arcenes.

A efectos de posibles cálculos estructurales analíticos, de modo simplificado se considera un espacio semi-infinito con un módulo elástico de 300 MPa con un coeficiente de Poisson de valor 0,35 aunque cabe la posibilidad de discretizar este espacio semi-infinito en las diferentes capas resultado de la aplicación de la metodología indicada en la Parte 4.

A.2.4.2 CAPAS GRANULARES

Para las capas granulares se adopta un módulo de elasticidad que es una función de los módulos de las capas confinantes, del propio espesor de la capa granular y del coeficiente de rozamiento interno de los áridos.

En la práctica se puede tomar:

$$E = k \cdot E_{i-1}$$

donde E_{i-1} es el módulo adoptado para la capa subyacente y k un coeficiente que varía entre 2 y 4 según los factores indicados. Por su parte, el coeficiente de Poisson de un material granular puede variar entre 0,35 y 0,40.

A.2.4.3 CAPAS TRATADAS CON CONGLOMERANTES HIDRAULICOS

Estos materiales son los más sencillos de caracterizar mecánicamente. Incluso a partir de los resultados de resistencia a compresión simple o a tracción indirecta puede deducirse mediante correlaciones relativamente fiables el módulo de elasticidad. Sin embargo, no se pueden recomendar unos valores fijos para el cálculo, pues se trata en realidad de una amplísima gama de materiales diferentes. Para los materiales empleados en España se pueden recomendar a título orientativo los valores de la tabla A.1.

TABLA A.2 CARACTERÍSTICAS ELASTICAS DE LAS CAPAS TRATADAS CON CONGLOMERANTES HIDRAULICOS

CARACTERÍSTICAS ELASTICAS DE LAS CAPAS TRATADAS CON CONGLOMERANTES HIDRAULICOS		
	E (MPa)	ν
Suelo mejorado con cemento	100 - 1000	0,30
Suelo-cemento	4000-15000	0,25
Grava-cemento	15000-22500	0,25
Hormigón magro	20000 - 25000	0,20
Grava-escoria	10000-20000	0,30

Fuente: Elaboración propia

A.2.4.4 MEZCLAS BITUMINOSAS Y MATERIALES ESTABILIZADOS CON LIGANTES BITUMINOSOS.

En este caso se trata de materiales con características muy variables, difíciles de modelar, pues su rigidez es variable con las temperaturas y los tiempos de aplicación de las cargas. Para las mezclas bituminosas no abiertas empleadas normalmente en España (se trata de mezclas no muy ricas en betún y con un esqueleto mineral con elevado rozamiento interno) se pueden adoptar valores de módulos de elasticidad de 4.000 a 7.000 MPa, y de coeficiente de Poisson de 0,30 a 0,35.

También se consideran las mezclas bituminosas de alto módulo para las que se pueden adoptar valores de módulos de elasticidad del orden de 11.000 MPa, con un coeficiente de Poisson de 0,30.

A.2.4.5 HORMIGONES

A los hormigones empleados en pavimentación se les puede suponer un módulo de elasticidad en torno a 33.000 MPa, con coeficiente de Poisson de 0,15 a 0,20.

A.2.5 CONDICIONES DE ADHERENCIA ENTRE CAPAS

Las hipótesis de Burmister suponen el contacto entre las capas del firme con adherencia total o nula. En el primer caso, la resolución de las ecuaciones se realiza imponiendo la igualdad de deformaciones horizontales en la zona de contacto entre ambas capas. Hay que tener en cuenta que el grado de adherencia real que se puede conseguir entre dos materiales depende de su naturaleza y sobre todo de cómo se haya realizado la puesta en obra. Por otro lado, es preciso considerar que, incluso partiendo de una adherencia prácticamente total, la diferencia de rigideces acaba conduciendo, por efecto de las cargas y del agua, a un cierto grado de despegue. En sentido contrario, la hipótesis de adherencia nula supone también un alejamiento de la realidad por cuanto siempre existe rozamiento entre los materiales.

Además, debe tenerse presente que la adherencia o no entre dos capas consecutivas es una de las variables que más influye en las tensiones y deformaciones que se producen. Por ello, para capas que puedan resultar críticas en el dimensionamiento deben compararse los resultados de las dos hipótesis.

A.2.6 VERIFICACIÓN

El principal problema que presentan los métodos analíticos de dimensionamiento es el de la verificación de los mismos, es decir, la comprobación sobre en qué medida las conclusiones que de ellos se pueden extraer concuerdan con la realidad. Por ejemplo, pueden existir superficies agrietadas que desde el punto de vista estructural puedan considerarse muy deterioradas y sin embargo no incidan en la normal circulación de los vehículos. Por otro lado, no todos los pavimentos que llegan a un grado apreciable de deterioro (grietas, deformaciones, etc.) evolucionan de manera rápida hacia una ruina total, sino que algunos tienen incluso cierta capacidad de auto-reparación en épocas favorables o de admitir con éxito operaciones sencillas de conservación.

Para la determinación del estado de deterioro de un firme se pueden adoptar tres tipos de criterios básicos:

- Indicadores globales, que definen el estado de la superficie del pavimento en función de las deformaciones y fisuras existentes. En este caso, suelen establecerse unos umbrales límite, más allá de los cuales el firme puede considerarse en condiciones inadmisibles.
- Indicadores paramétricos, que tienen en cuenta una o varias características relacionadas con la resistencia del firme o con propiedades específicas de la superficie del pavimento.
- Consideraciones teórico-experimentales, que tienen en cuenta el fallo de la estructura mediante su análisis por medio de determinados criterios de deterioro, por ejemplo, tensiones máximas admisibles.

A.3 MÉTODOS EMPÍRICOS

Aunque se disponga de programas de ordenador para el análisis de secciones estructurales, en la mayoría de los casos las normativas se basan en secciones tipificadas o ábacos que relacionan las características de los materiales con sus espesores y con el tráfico previsto durante la vida útil. En general, estos métodos empíricos (en el caso de los pavimentos portuarios, el más conocido es el método de la British Ports Association) se basan no sólo en criterios experimentales obtenidos a partir de observaciones y ensayos in situ y en laboratorio, sino que, de forma más o menos explícita se apoyan también en hipótesis mecanicistas y la mayoría de ellos han sido contrastados con programas de cálculo. La justificación de la existencia de los métodos empíricos está en el hecho de simplificar la labor del proyectista. Pero no es recomendable su aplicación en un ámbito distinto del original del método, ya que las asimilaciones sobre tipología del tráfico, características y prescripciones de materiales, factores estacionales, etc., pueden ser muy difíciles de realizar. Menos justificadas aún están las extrapolaciones en cuanto a cargas de cálculo, limitación de espesores, equivalencia entre materiales, etc.

Todos los métodos empíricos de dimensionamiento tienen en común el procedimiento siguiente:

- Establecimiento de una vida útil al final de la cual se llega a un grado de deterioro determinado.
- Determinación de los parámetros de entrada: caracterización de la superficie de apoyo, valoración del tráfico de proyecto, condiciones locales y estacionales.
- Determinación de la solución o soluciones a través de un camino propio de cada método: ábacos, tablas o catálogos de secciones estructurales.

Una tendencia general que se observa en las versiones más recientes de diversos métodos de dimensionamiento empírico, la cual ha sido adoptada en estas Recomendaciones, es independizar la determinación del espesor de las capas inferiores (normalmente capas granulares con o sin estabilización) del resto de las capas: se determina el espesor y las características de estas capas exclusivamente en función de la capacidad de soporte de la explanada exigida. Esto significa que se consideran estas capas como una plataforma de trabajo con adecuada capacidad de soporte y homogénea en toda la superficie que se pavimenta. Por el contrario, los espesores de las capas superiores están condicionados por el tráfico.

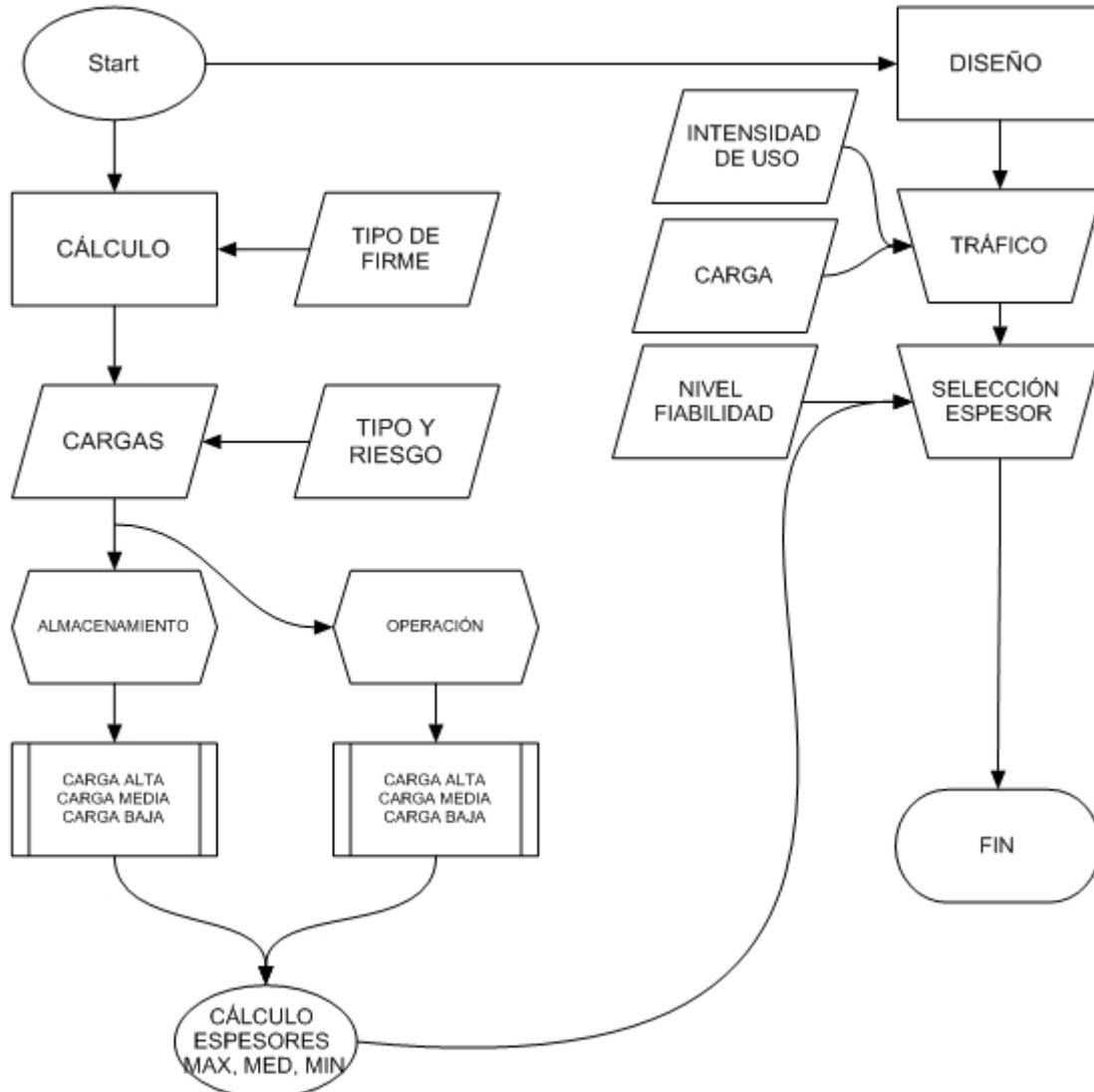
En algunos procedimientos empíricos se obtiene un espesor ficticio de un material tipo, del que se pasa, mediante unos coeficientes de equivalencia o relaciones de sustitución, a capas de espesores reales formadas por otros materiales. De esta forma, se pueden configurar estructuras multicapas con materiales y espesores distintos. Principalmente cuando se utilizan ábacos, se requiere un ajuste final de la sección estructural proyectada, mediante una serie de limitaciones incluidas en cada método y que no permiten elegir arbitrariamente los espesores. Los espesores de las capas de diversos materiales pueden a veces estar en contradicción con circunstancias reales de ejecución de la obra o con consideraciones técnicas y resistentes. Por ello, todos los métodos establecen una serie de limitaciones finales para llegar a obtener estructuras de firmes que cumplan su función resistente de manera armónica y equilibrada, ya que el deterioro de una capa implica la sobrecarga de las demás y su rápida destrucción. Esta armonía requiere una correcta relación entre espesores y rigideces, adecuándose en todos los casos al tipo y magnitud de las cargas de cálculo, a las condiciones climáticas, etc.

Los catálogos de secciones estructurales se basan en la discretización por intervalos de valores de la capacidad de soporte de las explanadas y de las cargas de cálculo. Dicha discretización tiene el aparente inconveniente de un menor ajuste de los espesores de cálculo al tráfico de proyecto. Sin embargo, los catálogos permiten estimar los parámetros de entrada dentro de intervalos de valores suficientemente amplios para no estar tan

afectados por la imprecisión de los mismos. Esto no quiere decir que no se deban fijar lo mejor posible, sino, que si se han evaluado correctamente, las posibles desviaciones quedaran, por lo general, dentro de los márgenes admisibles. Por otro lado, con un catálogo se unifican los criterios sobre dimensionamiento en el ámbito en el que se utiliza, lo que facilita el seguimiento de un grupo relativamente reducido de secciones estructurales.

A.4 METODOLOGÍA ADOPTADA EN ESTAS RECOMENDACIONES

FIGURA A.3 DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA DE CÁLCULO



Fuente: Elaboración propia

A.4.1 ESTUDIO DE LAS CARGAS

El estudio de las cargas depende del tipo de mercancía y operación que se realice. Se separan en Cargas de almacenamiento y en Cargas de operación.

A.4.2 CARGAS DE ALMACENAMIENTO

Para el caso del almacenamiento de cualquier mercancía, que no sea contenedores, se adoptan las cargas máximas que se describen en el capítulo 3.

En el caso específico del almacenamiento en las terminales de contenedores se constata estadísticamente una disminución de la carga transmitida según aumenta la altura de apilamiento. De tal forma que para establecer la carga de un apilamiento de varias alturas se debe aplicar un coeficiente reductor, suponiendo que la ocurrencia del peso en alturas sucesivas disminuye con la altura según:

$$C = P_c \cdot i \cdot k_i$$

Donde:

C: es la carga que ha de considerarse sobre el pavimento en un apilamiento de contenedores.
 Pc: es el peso máximo de un contenedor (20 o 40 pies).
 i: es el número de alturas del almacenamiento.
 ki: es un coeficiente corrector en función de las alturas de almacenamiento (i).

TABLA A.3 COEFICIENTES REDUCTORES DEL PESO EN FUNCIÓN DE LAS ALTURAS SEGÚN EL TIPO DE MOVIMIENTO DE CONTENEDORES

Alturas	Coeficientes reductores (ki) del peso			Pesos finales (kg)		
	Tránsito	O-D	Autoabastec	Tránsito	O-D	Autoabastec
1	1	1	1	26.500	25.900	26.200
2	0,92	0,92	0,93	48.700	47.800	48.500
3	0,88	0,89	0,89	70.200	69.100	70.300
4	0,86	0,87	0,88	91.300	90.100	91.700
5	0,85	0,86	0,86	112.100	110.800	112.900

Fuente: Estudio sobre el peso de contenedores manipulados en los puertos españoles y la naturaleza de las mercancías en ellos contenidas. Ed. Puertos del Estado.

La justificación de estos coeficientes del estudio de las cargas se basa en los estudios basados en datos reales del sistema portuario español, adoptando un intervalo de confianza del 95 % De la aplicación de lo anterior, de los datos de los estudios basados en datos reales del sistema portuario español se obtiene que, en almacenamiento de contenedores con una función de distribución de pesos normal, en el caso de 5 alturas, para una media de 950kN y una desviación típica 89,44 kN, se llega a una carga de 112,10 kN

— ESCENARIOS DE FALLO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS AN ALMACENAMIENTO

Con el fin de permitir la elección de diferentes estrategias de inversión y mantenimiento a la hora del diseño y explotación de una terminal portuaria, en estas recomendaciones se contempla la posibilidad de varios escenarios de diseño diferentes.

El punto de partida para el primer escenario es desde un extremo en el que se considera una inversión inicial importante que nos proporcione un grado de durabilidad alto, con una probabilidad de fallo estructural mínima.

Partiendo de las cargas máximas obtenidas anteriormente para las terminales de contenedores, así como de las indicadas en la Parte 3 para el resto de operaciones, quedarían los tres escenarios siguientes:

- Caso 1. Carga = Qmax
- Caso 2. Carga = 0,90 Qmax
- Caso 3. Carga = 0,80 Qmax

A.4.1.2 CARGAS DE OPERACIÓN

Cuando se estudia la carga de operación, es decir, la que transmite la maquinaria de manipulación, partiríamos de las cargas máximas que se presentan en la Parte 3, de acuerdo con las características de la maquinaria empleada.

Estas maquinarias transmiten su propio peso y el peso de la mercancía manipulada. Asimismo, en ciertos casos, al estar en movimiento, ha lugar un incremento de la carga transmitida debido a efectos dinámicos

Los coeficientes de mayoración de las cargas debidos a efectos dinámicos adoptados en el modelo de cálculo para cada uno de los equipos de manipulación habituales, en función de las diferentes zonas de la terminal y de las mercancías que se manipulen, son los siguientes:

- El factor f_d tiene en cuenta los efectos de la carga dinámica inducida por las curvas, la aceleración, el frenado y las irregularidades de las superficies. Cuando una sección de pavimento está sujeta a un efecto dinámico, las cargas de las ruedas se ajustan por los factores que se indican en la tabla. En algunos puertos, se introducen colgadores automatizados de alta velocidad de contenedores. Se recomienda que el factor en la tabla se incremente en un 50% para tales operaciones, es decir, un valor de 10% debe incrementarse a 15% o un valor de 60% incrementado a 90%.

TABLA A.4 FACTORES DE CARGA DINÁMICA

CONDITION	PLANT TYPE	f_d
Bracking	Reach Stacker/Front Lift Truck	30%
	Straddle Carrier	50%
	Side Lift Truck	20%
	Tractor and Trailer	10%
	Rubber Tyred Gantry Crane (RTG)	10%
Cornering	Reach Stacker/Front Lift Truck	40%
	Straddle Carrier	60%
	Side Lift Truck	30%
	Tractor and Trailer	30%
	Rubber Tyred Gantry Crane (RTG)	zero
Acceleration	Reach Stacker/Front Lift Truck	10%
	Straddle Carrier	10%
	Side Lift Truck	10%
	Tractor and Trailer	10%
	Rubber Tyred Gantry Crane (RTG)	5%
Uneven Surface	Reach Stacker/Front Lift Truck	20%
	Straddle Carrier	20%
	Side Lift Truck	20%
	Tractor and Trailer	20%
	Rubber Tyred Gantry Crane (RTG)	10%

Fuente: "The structural design of heavy duty pavements for ports and other industries", edition 4, by John Knapton, publicada by Interpave

Los efectos dinámicos de las cargas se refieren a efectos de las frenadas, giros y aceleraciones, así como a las irregularidades superficiales de los pavimentos.

Cuando varias de estas circunstancias se consideren puedan ser concurrentes el factor debería ser la suma de todos ellos.

En el caso del diseño de un nuevo pavimento se considera que no se debe contemplar el factor de superficie irregular.

- Para zonas de operación de graneles sólidos, mercancía general y semirremolques, con objeto de tener en cuenta los efectos dinámicos de las cargas por los efectos de las frenadas y las irregularidades superficiales de los pavimentos, se adoptan similares coeficientes debidos a efectos dinámicos, aplicados a los diferentes escenarios de carga estática.

- No se propone aplicar ninguna mayoración por la posible fatiga producida por el paso sucesivo por un mismo punto de cargas. Sólo cabría considerar el fenómeno de fatiga cuando se confirme una canalización evidente del tráfico. En general, esta circunstancia no se da, y cuando se da es en terminales automatizadas que exigen diseños específicos para la canalización de los tráficos. Este aspecto se evidencia en los informes realizados por el CEDEX donde se indica que visualmente no se aprecian los tipos de deterioros asociados a fatiga salvo en zonas muy puntuales, y debido fundamentalmente a problemas de ejecución o de calidad de los materiales empleados.

A.4.1.3 COEFICIENTE DE PASO DE CARGA EN CENTRO DE LOSA A CARGA EN BORDE PARA EL USO DEL MODELO ELÁSTICO SEMI-INFINITO

Con el fin de que el procedimiento de cálculo sea relativamente sencillo y abordable sin requerir especialistas y software altamente especializado se propone la realización de los dimensionamientos con un modelo multicapa basado en la teoría elástica.

Para los pavimentos discontinuos tales como los formados por losas de hormigón es necesario realizar una calibración del modelo de manera que se tengan en cuenta los efectos de las discontinuidades debidos a las juntas.

Se adopta un modelo con losas de 5 m de lado ya que es la dimensión óptima técnicamente, así como habitual en dichos pavimentos.

La calibración se realiza efectuando cálculos con el método propuesto comparando los resultados con los obtenidos en los cálculos basados en una modelización basado en elementos finitos.

Se ha realizado la comprobación de dos secciones extremas para uso de contenedores: una la que proporciona el menor espesor y la otra la que proporciona el mayor espesor. Estos espesores fueron determinados usando el modelo de cálculo mencionado, lo que proporciona las tensiones y deformaciones en las fibras superior e inferior de cada capa. Previamente, se ha comprobado que, aun siendo las características del modelo, (dimensiones infinitas de las capas en el plano horizontal) distintas a la realidad, se puede considerar que en el caso del estudio de losas de pavimentos de hormigón, los resultados proporcionados se corresponden con el caso de carga en el centro de la losa.

Con objeto de obtener el coeficiente de paso de tensiones de carga en centro de losa a carga en borde, se han realizado cálculos de carga en centro, carga en borde de losa y carga en esquina utilizando los modelos de elementos finitos elásticos ANSYS® y PLAXIS®.

En un primer escenario se ha considerado la losa sola sin que las losas adyacentes contribuyan. Este sería el escenario pésimo que no es coincidente con la realidad tal y como se puede ver en la bibliografía existente de evaluación de pavimentos rígidos con losas. (Ver Bibliografía)

Los cálculos indican que el peor caso de carga es el de borde de losa.

El coeficiente de paso de carga en centro a carga en borde de losa es del orden de 1,7 para los dos modelos de elementos finitos y los distintos escenarios de carga contemplados.

Adicionalmente se han realizado cálculos similares en el caso que las losas adyacentes contribuyan a soportar parte de la carga aplicada. Esta contribución se valora mediante la medida de la transferencia de carga de la losa cargada en el borde a la losa adyacente.

La experiencia y evaluación de los pavimentos muestra que un pavimento de losas de hormigón se considera en buena condición cuando la transferencia de carga es mayor del 50%. (Ver bibliografía adjunta).

Siendo conservadores se considera el escenario de transferencia de carga de un 30%, es decir, equivaldría a una losa aislada en la que la carga en el borde sería el 70% ya que la losa adyacente está contribuyendo con un 30%.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA A.3 RESULTADOS

		CENTRADA 100%	LATERAL 100%	α	LATERAL 70%	α
		$\sigma_{T,max}$	$\sigma_{T,max}$		$\sigma_{T,max}$	
		[Mpa]	[Mpa]	[adi m]	[Mpa]	[adi m]
SOLERA 27 CM	TERRENO 100 MPA	4.30	7.02	1.63	4.92	1.14
	TERRENO 150 MPA	4.00	6.42	1.61	4.49	1.12
SOLERA 62 CM	TERRENO 100 MPA	4.7	7.80	1.66	5.46	1.16
	TERRENO 150 MPA	4.57	7.53	1.65	5.27	1.15
SOLERA 27 CM	COR 100/EXPL150 MPA	3.42	5.37	1.57	4.01	1.17
	COR 100/EXP 300 MPA	3.21	5.27	1.64	3.69	1.15
SOLERA 62 CM	COR 100/EXPL150 MPA	3.93	6.61	1.68	4.63	1.18
	COR 100/EXP 300 MPA	3.74	6.25	1.67	4.37	1.17

Fuente: Elaboración propia

Con el 70% de la carga aplicada en borde, es decir el 30% pasa a la solera adyacente, estamos con el valor de paso α de 1,20, incluso algo menor. Todas las conclusiones se basan en este valor del 70%, que está del lado de la seguridad.

Adicionalmente se han realizado cálculos con otras tasas de transferencia para ver la sensibilidad a esta transferencia.

La recomendación inicial adoptada es la de adoptar un coeficiente de paso para las tensiones de rotura de 1,20, ya que un pavimento de hormigón en losas que sólo garantice un 30% de transferencia de carga en sus juntas solo se produce cuando el pavimento ya está en una condición de deterioro bastante alta.

A.4.2 ROTURA POR FATIGA

Conceptualmente se descarta el criterio de fallo por fatiga en los pavimentos de zonas de almacenamiento. En estos casos el criterio adoptado es la rotura a flexotracción de los materiales que conforman el pavimento.

Para las zonas de operación también se descarta el criterio de fatiga ya que, en general el tráfico no está canalizado y debido a que las velocidades de circulación son reducidas.

El incremento de deterioros asociado a al aumento de circulación se considera asociado no a fatiga sino a una mayor presencia de las cargas que producen la rotura a flexotracción de los materiales.

No obstante, si se diera el caso que se deseara considerar la fatiga la propuesta sería aumentar el coeficiente de seguridad de las cargas, es decir elegir un escenario con menor probabilidad de fallo.

A.4.3 CONSIDERACIÓN SOBRE EL MODO DE FALLO

El modo de fallo considerado es la rotura a flexotracción de los materiales, cuyas resistencias adoptadas para los diferentes materiales son las siguientes

- Hormigón para pavimentos de hormigón en masa HF-4,5: 4,5 MPa
- Suelocemento: 0,75 MPa
- Mezclas bituminosas convencionales: 2,2 MPa
- Mezclas bituminosas de alto módulo: 4,5 MPa
- Pavimentos de hormigón armado con fibras de acero: $1,5^* \times 4,5 = 6,75$ MPa
- Pavimentos continuos de hormigón armado: $1,5^{**} \times 4,5 = 6,75$ MPa. (NO SE CONSIDERARÍA EL COEFICIENTE DE PASO PARA LAS TENSIONES DE CARGA EN CENTRO DE LOSA A CARGA EN BORDE CALCULADO ANTERIORMENTE PARA EL USO DEL MODELO SEMI-INFINITO ELÁSTICO YA QUE NO SON LOSAS "INDEPENDIENTES" Y LA FISURACIÓN TRANSVERSAL QUE SE PRODUCE MANTIENE LA TRANSFERENCIA DE CARGAS).

* Justificación en la literatura de exigencia de los materiales. Ver más abajo.

** Se adopta un coeficiente similar al del hormigón armado con fibras, considerando comportamientos parecidos. En todo caso, si se quiere ser más conservador se podría calcular considerando 4,5 MPa pero sin aplicar el coeficiente de paso de carga en centro de losa a carga en borde.

HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS DE ACERO

Tensile Strength. Fibres aligned in the direction of the tensile stress may bring about very large increases in direct tensile strength, as high as 133% for 5% of smooth, straight steel fibres. However, for more or less randomly distributed fibres, the increase in strength is much smaller, ranging from as little as no increase in some instances to perhaps 60%, with many investigations indicating intermediate values, as shown in figure 4. Splitting-tension test of SFRC show similar result. Thus, adding fibres merely to increase the direct tensile strength is probably not worthwhile. However, as in compression, steel fibres do lead to major increases in the post-cracking behaviour or toughness of the composites.

Flexural Strength. Steel fibres are generally found to have aggregate much greater effect on the flexural strength of SFRC than on either the compressive or tensile strength, with increases of more than 100% having been reported. The increases in flexural strength is particularly sensitive, not only to the fibre volume, but also to the aspect ratio of the fibres, with higher aspect ratio leading to larger strength increases. Figure 5 describes the fibre effect in terms of the combined parameter W/d , where d is the aspect ratio and W is the weight percent of fibres. It should be noted that for $W/d > 600$, the mix characteristics tended to be quite unsatisfactory. Deformed fibres show the same types of increases at lower volumes, because of their improved bond characteristics.

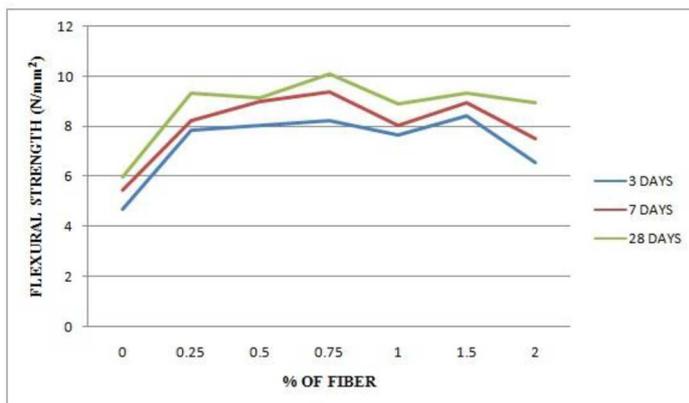
Fuente: Steel fiber reinforced concrete, Nguyen Van CHANH

HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS DE ACERO

The experimental results indicate that the addition of steel fibre into concrete significantly increases the flexural strength. It also indicates that at constant percentage of fibre, that is 1.5% by increasing the aspect ratio of fibre from 40 to 70, flexural strength increased from 36.7% to 58.65%

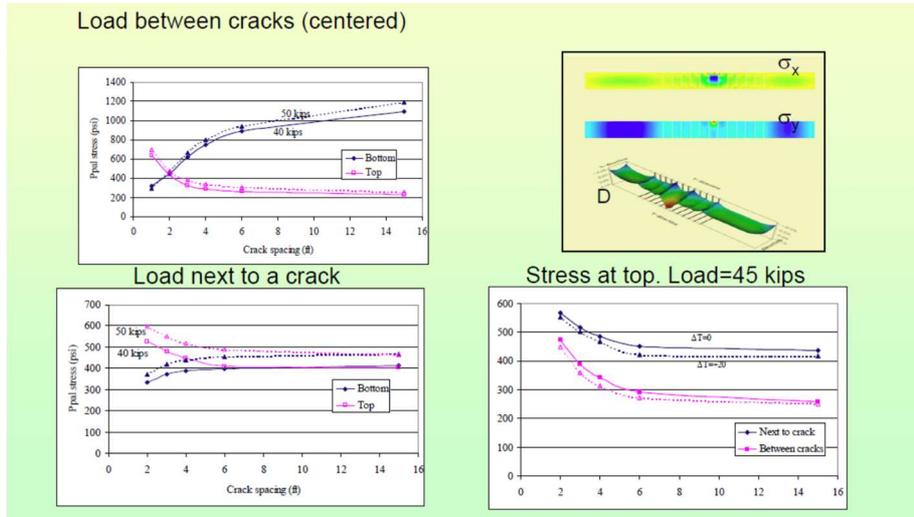
Fuente: Study of Flexural Strength in Steel Fibre Reinforced Concrete, Patil Shweta¹, Rupali Kavilkar²

FIGURA A.4 FUERZA FLEXIBLE



FUENTE: Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete, Milind V. Mohod

FIGURA A.5 PREDICTION OF FAILURE STRESS: CRACK SPACING



Fuente: “Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP) for Airfields”. CEAT Brown Bag Lunch Seminar Series, November 10, 2005. Jeffery Roesler

No se consideran los efectos debidos a variaciones térmicas generales o diferenciales.

Por último, el modo de fallo no contempla la minoración de la resistencia de los materiales empleados, ya que se considera que las condiciones exigidas en los pliegos y en el control de calidad deben asegurar, como mínimo, la resistencia considerada en el proyecto.

Este modo de fallo basado en un criterio de rotura no implica la ruina del pavimento. Sólo indica que el pavimento para esa carga y en esa posición puede fisurarse si la resistencia del material no es mayor que la mínima exigida.

A.4.4 PROCESO DE DISEÑO DE UN PAVIMENTO PORTUARIO

Con todo ello se obtienen los tres niveles de cargas con los que se procede al cálculo de los espesores de pavimentos considerando las asunciones mencionadas, obteniéndose tres posibles escenarios de construcción:

- Espesor mínimo (Probabilidad de fallo del 1% o menor)
- Espesor medio (Probabilidad de fallo del 10%)
- Espesor máximo (Probabilidad de fallo del 20%)

Se consideran los niveles de carga y las intensidades de uso para llegar a determinar una categoría de tráfico.

TABLA A.6 CATEGORÍAS DE TRÁFICO

CATEGORÍA DE TRÁFICO		CATEGORÍAS DE CARGAS		
		ALTA	MEDIA	BAJA
INTENSIDAD DE USO	Elevada	T0	T1	T1
	Media	T1	T1	T2
	Reducida	T1	T2	T2

Fuente: Elaboración propia

Basándose en niveles de exigencia de durabilidad y en las categorías de tráfico, todos ellos asociados a unos objetivos de explotación se llega a una matriz de decisión de niveles de espesores del pavimento.

TABLA A.7 DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS

DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS		Durabilidad o Fiabilidad ante deterioros		
		Sin deterioros (<1% de fallos) Con máxima funcionalidad	Con deterioros. Con alta funcionalidad (<10% de fallos)	Con deterioros. Con funcionalidad aceptable (<20% de fallos)
TRÁFICO	T0	Espesor Máximo	Espesor Máximo	Espesor Medio
	T1	Espesor Máximo	Espesor Medio	Espesor Medio
	T2	Espesor Medio	Espesor Medio	Espesor Mínimo

Fuente: Elaboración propia

Este proceso se hará tanto para Almacenamiento como para Operación y para cada tipo de pavimento.

A.5 REFERENCIAS ESPECÍFICAS

- CRONEY, D. (1977): The design and performance of road pavements, H.M.S.O., Londres.
- PEYRONNE, Ch; CAROFF, G. (1984): Dimensionnement des chaussées, Presses de l'ENPC, París.
- ULLIDTZ, P. (1987): Pavement analysis, Elsevier, Amsterdam.
- YANG, N.C. (1972): Design of functional pavements, McGraw-Hill, New York.
- YODER, E.J.; WITCZAK, M.W. (1975): Principles of pavement design, 2ª edición, John Wiley and Sons, New York y Toronto.
- GUIDE FOR MECHANISTIC-EMPIRICAL DESIGN OF NEW AND REHABILITATED PAVEMENT STRUCTURES (2004). NCHRP
- CONCRETE PAVEMENT REHABILITATION, (1997) FHWA US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
- GUIDELINES FOR EVALUATION OF EXISTING PAVEMENTS FOR HMA OVERLAY, (2006), FHWA, TEXAS DOT
- THE STRUCTURAL DESIGN OF HEAVY DUTY PAVEMENTS FOR PORTS AND OTHER INDUSTRIES, EDITION 4, John Knapton, Interpave

ANEJO B

GRADO DE UTILIZACIÓN DE LAS TERMINALES PORTUARIAS

ÍNDICE

B.1 Introducción

B.2 Grado de utilización de terminales portuarias. Año 2014

B.3 Cálculo de valores de intensidad de uso usados como límites de las diferentes categorías en las que se divide: reducida, media y alta

 B 3.1 Zonas de Operación. Graneles Sólidos

 B 3.2 Zonas de Operación. Mercancía general

 B 3.3 Zonas de Operación. Contenedores

 B 3.4 Zonas de almacenamiento de graneles sólidos

 B 3.5 Zonas de almacenamiento de mercancía general

 B 3.6 Zonas de almacenamiento de contenedores

B.4 Resultados y conclusiones

ANEJO B

GRADO DE UTILIZACIÓN DE LAS TERMINALES PORTUARIAS

B.1 INTRODUCCIÓN

El presente anejo - Grado de utilización de las terminales portuarias -, pretende mostrar el proceso o metodología seguido para establecer los valores de las intensidades de uso que marcarán los límites de los intervalos de clasificación de las mismas. Dicha clasificación de intensidades de uso establecerá 3 categorías: Reducida, Media y Alta. Cada categoría presentará unos valores de intensidad de uso que marcarán los límites inferior y superior de los intervalos, dependiendo del tipo de zona en el que nos encontremos. Se diferenciará entre:

- Uso comercial, uso industrial, uso militar, uso pesquero y uso deportivo.
- Zona de almacenamiento y zona de operación
- Incluidas en las zonas de almacenamiento, en función del tipo de mercancía: Graneles sólidos, mercancía general, contenedores, estacionamiento de semirremolques, vías de maniobra y viales de acceso.

B.2 GRADO DE UTILIZACIÓN DE TERMINALES PORTUARIAS. DATOS AÑO 2014

Como base del estudio del grado de utilización de terminales portuarias se han considerado las cargas de tráfico que durante el año 2014 soportaron gran parte de las terminales portuarias que forman parte de una serie de puertos nacionales analizados. Los datos obtenidos vienen todos ellos englobados en las memorias anuales que publica Puertos del Estado.

De entre todos los datos que ofrece dicho plan sectorial, se han tomado aquellos referentes al grado de utilización, o índice de explotación, de las terminales portuarias para el año 2014, principalmente a modo de cargas totales soportadas por dichas terminales (en miles de toneladas o miles de TEU's en el caso de zonas de almacenamiento de contenedores).

Por otro lado, se dispone también de datos de 2014 en lo referente a la superficie total de almacenamiento de las terminales, para así transformar valores absolutos de carga en valores de carga por metro cuadrado de superficie de almacenamiento. Con este ratio de toneladas de carga por metro cuadrado de superficie de almacenamiento, pueden obtenerse datos para cada terminal y para cada tipo de zona (en función del tipo de mercancía que almacena), que ofrecen una idea bastante exacta del actual intervalo de variación en el que se mueve lo que en la ROM 4.1-94 se denominó "Intensidad de Uso".

B.3 CÁLCULO DE VALORES DE INTENSIDAD DE USO, USADOS COMO LÍMITES DE LAS DIFERENTES CATEGORÍAS EN LAS QUE SE DIVIDE: REDUCIDA, MEDIA Y ALTA.

Una vez conocidos los valores de carga por superficie total de almacenamiento para cada terminal (en toneladas para todas las terminales, excepto las de contenedores, que miden cargas en TEU's) se procede de la siguiente forma:

- Para cada tipo de zona de almacenamiento en función de la mercancía (Graneles Sólidos, Mercancía General y Contenedores), se establecerán una serie de intensidades de uso que marcarán los intervalos que se usarán para clasificar las intensidades de uso actuales: “reducidas, medias y elevadas”.
- Para la obtención de los valores de intensidad de uso que marcan los límites de los intervalos de clasificación, se procederá de 2 formas:
 - Se tomará como valor límite superior del intervalo de intensidad de uso REDUCIDA, aquel cuya probabilidad de NO superación sea del 25%. El valor límite superior del intervalo de intensidad de uso MEDIA será aquel con probabilidad de NO superación del 75%.
 - Se tomará como valor límite superior del intervalo de intensidad de uso REDUCIDA, aquel cuya probabilidad de NO superación sea del 40%. El valor límite superior del intervalo de intensidad de uso MEDIA será aquel con probabilidad de NO superación del 80%.

Por otro lado, en el caso de zonas de operación, se tomarán valores de carga por metro lineal de línea de atraque del muelle y se procederá de la siguiente forma:

- Se tomará el valor de carga por unidad de longitud del conjunto de terminales analizadas, en función de la mercancía (Graneles Sólidos, Mercancía General y Contenedores). Se establecerán una serie de intervalos para clasificar intensidades de uso actuales en “reducidas, medias y elevadas”.

- Para la obtención de los valores de intensidad de uso que marcarán los límites de los intervalos de clasificación, se procederá de 2 formas:
 - Se tomará como valor límite superior del intervalo de intensidad de uso REDUCIDA, aquel cuya probabilidad de NO superación sea del 25%. El valor límite superior del intervalo de intensidad de uso MEDIA será aquel con probabilidad de NO superación del 75%.
 - Se tomará como valor límite superior del intervalo de intensidad de uso REDUCIDA, aquel cuya probabilidad de NO superación sea del 40%. El valor límite superior del intervalo de intensidad de uso MEDIA será aquel con probabilidad de NO superación del 80%.

Para el cálculo de las probabilidades de no superación (tanto para el caso de las zonas de almacenamiento como de las zonas de operaciones) se ajustarán los valores a una distribución tipo log-normal, y se verificará la bondad de ajuste mediante el test de la chi cuadrado, para $\alpha=5\%$.

Una vez especificado el método a seguir para la clasificación de intensidades de uso, procedemos a mostrar de manera detallada los cálculos realizados, diferenciando entre zonas en función de la tipología de mercancía albergada.

B 3.1 Zonas de Operación. Graneles Sólidos

En la siguiente tabla se muestra los valores de carga por metro lineal de línea de atraque, a los cuales se les asigna una determinada probabilidad de no superación, como se puede observar. Por tanto, lo que se hace es representar numéricamente la función de distribución acumulada con probabilidades de no superación para los graneles sólidos por metro lineal de línea de atraque.

TABLA B.1 VALORES DE CARGA POR METRO DE ATRAQUE EN LAS ZONAS DE OPERACIÓN DE GRANELES SÓLIDOS

PUERTO	MUELLE	TIPO DE MERCANCÍA	DEMANDA (miles de toneladas)	LÍNEA DE ATRAQUE (m)	Carga por metro de línea de atraque (Tonelada/ml)	Probabilidad de no superación (%)
Pasajes	Reloj	Granel sólido	38	240	158	3,98%
Las Palmas	Reina Sofía, Sur	Granel sólido	124	760	163	4,20%
Santa Cruz de Tenerife	Dársena Este 1ª Alineación	Granel sólido	60	325	185	5,19%
Palma de Mallorca	Ribera San Carlos	Granel sólido	52	250	208	6,33%
Santander	C. Cadevesa - Cantabria Sil	Granel sólido	39	180	217	6,76%
Huelva	Pantalán de Fertiberia (Fosfóricos)	Granel sólido	42	120	350	13,61%
Almería	Ribera / Poniente	Granel sólido	146	300	487	20,46%
Santa Cruz de Tenerife	Dársena Este 3ª Alineación	Granel sólido	168	300	560	23,90%
La Coruña	Calvo Sotelo	Granel sólido	468	740	632	27,13%
Gijón	Ingeniero Olano, 1er Tramo	Granel sólido	353	554	637	27,33%
Pasajes	Lezo1	Granel sólido	193	299	645	27,69%
Gijón	Ingeniero Moliner	Granel sólido	260	313	831	35,06%
Avilés	Alcoa Inespal	Granel sólido	114	133	857	36,02%
Almería	Pechina	Granel sólido	299	313	955	39,43%
Huelva	Minerales	Granel sólido	380	374	1.016	41,40%
Bilbao	Muelle Adosado/Muelle Princesa/Muelle Nemar	Granel sólido	1341	1243	1.079	43,34%
Bilbao	Muelle AZ3 y AZ2	Granel sólido	1709	1578	1.083	43,46%
Cartagena	Darsena Escombreras (M sur y Polivalente)	Granel sólido	1447	1177	1.229	47,62%
Santander	Raos 1	Granel sólido	431	300	1.437	52,75%

PUERTO	MUELLE	TIPO DE MERCANCÍA	DEMANDA (miles de toneladas)	LÍNEA DE ATRAQUE (m)	Carga por metro de línea de atraque (Tonelada/ml)	Probabilidad de no superación (%)
La Coruña	Centenario Oeste	Granel sólido	290	196	1.480	53,71%
Sevilla	Portillo	Granel sólido	109	70	1.557	55,39%
Bahía de Algeciras	Endesa Generación	Granel sólido	972	594	1.636	57,00%
Marín - Pontevedra	Leiros	Granel sólido	805	397	2.028	63,82%
Tarragona	Cantabria	Granel sólido	507	246	2.061	64,32%
Tarragona	Aragón	Granel sólido	2420	1163	2.081	64,62%
Tarragona	Castilla	Granel sólido	2563	1197	2.141	65,49%
Castellón	Transversal exterior	Granel sólido	832	335	2.484	69,89%
Castellón	Costa sur	Granel sólido	1275	508	2.510	70,19%
Santander	Cementos Alfa	Granel sólido	365	135	2.704	72,28%
La Coruña	Centenario Norte y Sur	Granel sólido	3690	1239	2.978	74,89%
Huelva	Ing. J. Gonzalo / C. Palos	Granel sólido	4209	1394	3.019	75,25%
Barcelona	Contradique Oeste	Granel sólido	3909	1277	3.061	75,61%
Gijón	Ribera, 2º y 3º Tramo	Granel sólido	436	109	4.000	81,99%
Cartagena	Isaac Peral	Granel sólido	1960	480	4.083	82,43%
Castellón	Cerámica	Granel sólido	2084	471	4.425	84,09%
Tarragona	Catalunya / Alcudia	Granel sólido	4156	801	5.189	87,07%
Carboneras	Endesa	Granel sólido	2346	386	6.078	89,63%
Carboneras	Holcim (Norte y Este)	Granel sólido	1212	198	6.121	89,73%
Gijón	Marcelino León	Granel sólido	12381	807	15.342	97,86%

Fuente: Elaboración propia.

Por tanto y como ya se dijo, se procederá de 2 formas diferenciadas para establecer los límites de los intervalos entre los que deberá estar la intensidad de uso, para que así se le asigne la categoría correspondiente.

Se tomará como valor límite superior del intervalo de intensidad de uso REDUCIDA, aquel cuya probabilidad de NO superación sea del 25%. El valor límite superior del intervalo de intensidad de uso MEDIA será aquel con probabilidad de NO superación del 75%.

Se tomará como valor límite superior del intervalo de intensidad de uso REDUCIDA, aquel cuya probabilidad de NO superación sea del 40%. El valor límite superior del intervalo de intensidad de uso MEDIA será aquel con probabilidad de NO superación del 80%.

Las probabilidades de no superación se realizan ajustando los datos a una distribución log-normal y se verifica el ajuste mediante el test de la chi-cuadrado.

Para comprobar la bondad de ajuste dividimos el rango de valores en 5 partes con idéntica probabilidad=0,2. Se obtienen las frecuencias teóricas en cada uno de los intervalos y se cuentan las frecuencias observadas en cada uno de estos intervalos. De esta forma obtenemos el valor del estadístico

$$Y = \sum_{i=1}^5 \frac{(y_i - np_i)^2}{np_i} = 1,13$$

Puesto que

$$\gamma = F_{\chi_{k-1}^2}^{-1}(1 - \alpha) = F_{\chi_4^2}^{-1}(0,95) = 9,49,$$

y $1,13 < 9,49$, se acepta, para $\alpha=0,05$, el ajuste de los datos a una distribución tipo log-normal.

TABLA B.2 VALORES PARA LAS DIFERENTES INTENSIDADES DE USO EN OPERACIONES DE GRANEL SÓLIDO

Zonas de Operaciones. Granel sólido	25 – 75 %	40 – 80 %
INTENSIDAD DE USO REDUCIDA	<585 (584)	<975 (973)
INTENSIDAD DE USO MEDIA	[585, 2990]	[975, 3660]
INTENSIDAD DE USO ELEVADA	>2990	>3660 (3661)

Fuente: Elaboración propia

B 3.2 Zonas de Operación. Mercancía general

En la siguiente tabla se muestra los valores de carga por metro lineal de línea de atraque, a los cuales se les asigna una determinada probabilidad de no superación, como se puede observar. Por tanto, lo que se hace es representar numéricamente la función de distribución acumulada con probabilidades de no superación para mercancía general por metro lineal de línea de atraque.

TABLA B.3 VALORES DE CARGA POR METRO DE ATRAQUE EN LAS ZONAS DE OPERACIÓN DE MERCANCÍA GENERAL

PUERTO	MUELLE	TIPO DE MERCANCÍA	DEMANDA (miles de toneladas)	LÍNEA DE ATRAQUE (m)	Carga por metro de línea de atraque (Tonelada/ml)	Probabilidad de no superación (%)
Santander	Raos 7	General Convencional	1	170	6	0,04%
Vigo	Muelle del comercio	General Convencional	13	250	52	3,99%
Marín - Pontevedra	Comercial Sur	General convencional	11	161	68	6,08%
Santa Cruz de Tenerife	Dársena Anaga 5ª Alineación	General convencional	57	395	144	16,12%

PUERTO	MUELLE	TIPO DE MERCANCÍA	DEMANDA (miles de toneladas)	LÍNEA DE ATRAQUE (m)	Carga por metro de línea de atraque (Tonelada/ml)	Probabilidad de no superación (%)
Almería	Ribera 2ª Alineación	General convencional	97	450	216	24,52%
Alcudia	Ribera Dientes	General convencional	60	246	244	27,51%
La Coruña	Langosteira	General convencional	226	900	251	28,24%
Ferrol - San Ciprao	Nuevo Muelle	General convencional	72	271	266	29,68%
Huelva	Muelle sur	General convencional	211	750	281	31,18%
Vigo	Transversal	General Convencional	170	506	336	36,01%
Bilbao	Reina Victoria Eugenia	General convencional	237	634	374	39,03%
Huelva	Muelle Levante	General convencional	197	520	379	39,42%
Alcudia	Pantalán Repsol	General convencional	39	75	520	48,73%
Bilbao	Príncipe de Asturias	General convencional	1451	2052	707	57,84%
Gijón	Espigón I	General convencional	497	580	857	63,35%
Almería	Ribera 1ª Alineación	General convencional	241	281	858	63,38%
Marín - Pontevedra	Comercial de Marín	General convencional	202	195	1.036	68,54%
Bilbao	Vizcaya	General convencional	908	858	1.058	69,11%
Alcudia	Poniente 2 tramo	General convencional	213	192	1.109	70,34%
Ceuta	Poniente 4ª Alineación	General Convencional	319	250	1.276	73,85%
Santa Cruz de Tenerife	Dársena Anaga 6ª Alineación	General convencional	815	385	2.117	84,54%

PUERTO	MUELLE	TIPO DE MERCANCÍA	DEMANDA (miles de toneladas)	LÍNEA DE ATRAQUE (m)	Carga por metro de línea de atraque (Tonelada/ml)	Probabilidad de no superación (%)
Barcelona	Costa / Ponent	General convencional	3890	1440	2.701	88,47%
Palma de Mallorca	Testero / Muelles Comerciales / Muelles Adosado	General convencional	1677	483	3.472	91,72%
Santander	Bloques	General convencional	419	107	3.916	93,01%

Fuente: Elaboración propia

(Por su escaso uso, a la hora de realizar los cálculos no se ha considerado el muelle Raos 7, del Puerto de Santander)

Verificando la bondad de ajuste mediante el test de la chi cuadrado, el valor del estadístico χ^2 es $\chi^2 = 5,04$, puesto que $5,04 < 9,49$, se acepta, para $\alpha=0,05$, el ajuste de los datos a una distribución tipo log-normal.

Al igual que en el apartado anterior, se muestra a continuación los valores límites de los intervalos que establecen las diferentes categorías de intensidades de uso.

TABLA B.4 VALORES PARA LAS DIFERENTES INTENSIDADES DE USO EN OPERACIONES DE MERCANCÍA GENERAL

Zonas de Operaciones. General convencional	25 – 75 %	40 – 80 %
INTENSIDAD DE USO REDUCIDA	<220	<385 (387)
INTENSIDAD DE USO MEDIA	[220, 1340]	[385, 1675]
INTENSIDAD DE USO ELEVADA	>1340 (1339)	>1675 (1674)

Fuente: Elaboración propia

B 3.3 Zonas de Operación. Contenedores

En la siguiente tabla se muestra los valores de carga por metro lineal de línea de atraque, a los cuales se les asigna una determinada probabilidad de no superación, como se puede observar. Por tanto, lo que se hace es representar numéricamente la función de distribución acumulada con probabilidades de no superación para los contenedores por metro lineal de línea de atraque.

TABLA B.5 VALORES DE CARGA POR METRO DE ATRAQUE EN LAS ZONAS DE OPERACIÓN DE CONTENEDORES

PUERTO	MUELLE	TIPO DE MERCANCÍA	DEMANDA (miles de TEU's)	LÍNEA DE ATRAQUE (m)	Carga por metro de línea de atraque (TEU/ml)	Probabilidad de no superación (%)
Las Palmas	Gran Canaria	Contenedores	2	500	4	0,33%
Valencia	Levante TCV	Contenedores	64	1326	48	16,03%
Barcelona	Príncep D'Espanya / Dársena Sud	Contenedores	107	1427	75	24,57%
Santa Cruz de Tenerife	Ribera Al 1, 2 y 3	Contenedores	114	1351	84	27,22%
Cádiz	Reina Sofía	Contenedores	56	600	93	29,58%
Valencia	Príncipe Felipe / Este (Noatum)	Contenedores	176	1820	97	30,44%
Gijón	De la Osa, 7ª y 8ª Alineación	Contenedores	63	524	120	35,90%
Santa Cruz de Tenerife	Dársena Este Muelle	Contenedores	55	435	126	37,22%
Las Palmas	Virgen del Pino	Contenedores	171	1096	156	42,84%
Cartagena	Santa Lucía	Contenedores	88	531	166	44,49%
Valencia	Levante tramo 2 (MSC)	Contenedores	155	770	201	49,84%
Marín - Pontevedra	Nuevo Muelle Comercial	Contenedores	38	180	211	51,16%
Tarragona	Andalucía	Contenedores	132	600	220	52,30%
Vigo	Guixar	Contenedores	197	769	256	56,48%

PUERTO	MUELLE	TIPO DE MERCANCÍA	DEMANDA (miles de TEU's)	LÍNEA DE ATRAQUE (m)	Carga por metro de línea de atraque (TEU/ml)	Probabilidad de no superación (%)
Castellón	Muelle del centenario	Contenedores	256	780	328	63,11%
Bilbao	Muelle A1 y A2	Contenedores	536	1527	351	64,85%
Santa Cruz de Tenerife	Dársena Este Muelle Bufadero	Contenedores	153	414	370	66,17%
Barcelona	Adossat	Contenedores	250	658	380	66,87%
Palma de Mallorca	1ª Alineación del dique Oeste	Contenedores	149	360	414	68,99%
Barcelona	Sud	Contenedores	593	1362	435	70,22%
Las Palmas	León y Castillo	Contenedores	948	1400	677	79,86%
Bahía de Algeciras	Muelle este	Contenedores	1040	1435	725	81,16%
Barcelona	Prat	Contenedores	923	1025	900	84,95%
Bahía de Algeciras	Juan Carlos I	Contenedores	3906	2328	1.678	92,86%

Fuente: Elaboración propia

Verificando la bondad de ajuste mediante el test de la chi cuadrado, el valor del estadístico Y es $Y = 3,92$, puesto que $3,92 < 9,49$, se acepta, para $\alpha = 0,05$, el ajuste de los datos a una distribución tipo log-normal.

Al igual que en los apartados anteriores, se muestra a continuación los valores límites de los intervalos que establecen las diferentes categorías de intensidades de uso.

TABLA B.6 VALORES PARA LAS DIFERENTES INTENSIDADES DE USO EN OPERACIONES DE CONTENEDORES

Zonas de Operaciones. Contenedores	25 – 75 %	40 – 80 %
INTENSIDAD DE USO REDUCIDA	<75 (76)	<140
INTENSIDAD DE USO MEDIA	[75, 535]	[140, 680]

Zonas de Operaciones. Contenedores	25 – 75 %	40 – 80 %
INTENSIDAD DE USO ELEVADA	>535 (536)	>680 (682)

Fuente: Elaboración propia

B 3.4 Zonas de almacenamiento de graneles sólidos

En la siguiente tabla se muestra los valores de carga por metro cuadrado de superficie para las diferentes zonas de almacenamiento de graneles sólidos analizadas, a los cuales se les asigna una determinada probabilidad de no superación, como se puede observar. Por tanto, lo que se hace es representar numéricamente la función de distribución acumulada con probabilidades de no superación, para cargas por superficie de zona de almacenamiento.

TABLA B.7 VALORES DE CARGA POR METRO DE ATRAQUE EN LAS ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE GRANELES SÓLIDOS

PUERTO	MUELLE	TIPO DE MERCANCÍA	DEMANDA (miles de toneladas)	SUPERFICIE (m2)	Carga por superficie de almacenamiento (Tonelada/m2)	Probabilidad de no superación (%)
Palma de Mallorca	Ribera San Carlos	Granel sólido	52	34.291	2	9,40%
Bilbao	Muelle AZ3 y AZ2	Granel sólido	1.709	916.137	2	11,46%
Las Palmas	Reina Sofía, Sur	Granel sólido	124	64.983	2	11,70%
Tarragona	Cantabria	Granel sólido	507	213.500	2	14,23%
Almería	Ribera / Poniente	Granel sólido	146	44.116	3	18,73%
Bahía de Algeciras	Endesa Generación	Granel sólido	972	273.820	4	19,79%
Santander	C. Cadevesa - Cantabria Sil	Granel sólido	39	10.441	4	20,58%
Cartagena	Darsena Escombreras (M sur y Polivalente)	Granel sólido	1.447	238.873	6	28,92%
Santander	Raos 1	Granel sólido	431	65.689	7	30,44%

PUERTO	MUELLE	TIPO DE MERCANCÍA	DEMANDA (miles de toneladas)	SUPERFICIE (m2)	Carga por superficie de almacenamiento (Tonelada/m2)	Probabilidad de no superación (%)
Tarragona	Aragón	Granel sólido	2.420	331.775	7	32,51%
La Coruña	Centenario Oeste	Granel sólido	290	27.963	10	39,73%
Gijón	Ingeniero Olano, 1er Tramo	Granel sólido	353	28.271	12	43,71%
Pasajes	Lezo1	Granel sólido	193	14.998	13	44,36%
Tarragona	Castilla	Granel sólido	2.563	178.820	14	46,71%
Bilbao	Muelle Adosado/Muelle Princesa/Muelle Nemar	Granel sólido	1.341	91.393	15	47,22%
Castellón	Cerámica	Granel sólido	2.084	142.010	15	47,23%
Gijón	Ingeniero Moliner	Granel sólido	260	15.408	17	50,28%
Pasajes	Reloj	Granel sólido	38	2.224	17	50,56%
Castellón	Costa sur	Granel sólido	1.275	65.000	20	53,58%
Huelva	Ing. J. Gonzalo / C. Palos	Granel sólido	4.209	193.243	22	55,86%
Cartagena	Isaac Peral	Granel sólido	1.960	80.514	24	58,26%
La Coruña	Centenario Norte y Sur	Granel sólido	3.690	120.437	31	63,11%
Marín - Pontevedra	Leiros	Granel sólido	805	23.044	35	65,79%
Barcelona	Contradique Oeste	Granel sólido	3.909	110.708	35	66,01%
Tarragona	Catalunya / Alcudia	Granel sólido	4.156	99.990	42	69,23%
Avilés	Alcoa Inespal	Granel sólido	114	2.700	42	69,53%
Santa Cruz de Tenerife	Dársena Este 3ª Alineación	Granel sólido	168	2.670	63	76,73%
La Coruña	Calvo Sotelo	Granel sólido	468	7.173	65	77,34%
Gijón	Ribera, 2º y 3º Tramo	Granel sólido	436	5.885	74	79,38%
Castellón	Transversal exterior	Granel sólido	832	9.700	86	81,60%
Gijón	Marcelino León	Granel sólido	12.381	121.858	102	83,97%

PUERTO	MUELLE	TIPO DE MERCANCÍA	DEMANDA (miles de toneladas)	SUPERFICIE (m ²)	Carga por superficie de almacenamiento (Tonelada/m ²)	Probabilidad de no superación (%)
Carboneras	Endesa	Granel sólido	2.346	19.115	123	86,37%
Carboneras	Holcim (Norte y Este)	Granel sólido	1.212	3.200	379	95,69%

Fuente: Elaboración propia

Se procederá al igual que hacíamos en el apartado anterior, de 2 formas diferenciadas para establecer los límites que marcan los intervalos en los que deberá estar la intensidad de uso. Dichos intervalos representan los valores en los que se debe encontrar la intensidad de uso para obtener una determinada categoría u otra: Reducida, media y alta.

- Se tomará como valor límite superior del intervalo de intensidad de uso REDUCIDA, aquel cuya probabilidad de NO superación sea del 25%. El valor límite superior del intervalo de intensidad de uso MEDIA será aquel con probabilidad de NO superación del 75%.
- Se tomará como valor límite superior del intervalo de intensidad de uso REDUCIDA, aquel cuya probabilidad de NO superación sea del 40%. El valor límite superior del intervalo de intensidad de uso MEDIA será aquel con probabilidad de NO superación del 80%.

Al igual que en el caso de las zonas de operaciones, se verifica la bondad de ajuste mediante el test de la chi cuadrado, el valor del estadístico Y es $Y = 3,52$, puesto que $3,52 < 9,49$, se acepta, para $\alpha = 0,05$, el ajuste de los datos a una distribución tipo log-normal.

TABLA B.8 VALORES PARA LAS DIFERENTES INTENSIDADES DE USO EN ALMACENAMIENTO DE GRANELES SÓLIDOS

Zona de Almacenamiento de Graneles Sólidos	25 – 75 %	40 – 80 %
INTENSIDAD DE USO REDUCIDA	<5	<10 (11)
INTENSIDAD DE USO MEDIA	[5, 55]	[10, 75]
INTENSIDAD DE USO	>55 (57)	>75 (77)

Zona de Almacenamiento de Graneles Sólidos	25 – 75 %	40 – 80 %
ELEVADA		

Fuente: Elaboración propia

B 3.5 Zonas de almacenamiento de mercancía general

En la siguiente tabla se muestra los valores de carga por metro cuadrado de superficie para las diferentes zonas de almacenamiento de mercancía general convencional analizadas, a los cuales se les asigna una determinada probabilidad de no superación. Lo que se hace es representar numéricamente la función de distribución acumulada con probabilidades de no superación, para cargas por superficie de zona de almacenamiento.

TABLA B.9 VALORES DE CARGA POR METRO DE ATRAQUE EN LAS ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍA GENERAL

PUERTO	MUELLE	TIPO DE MERCANCÍA	DEMANDA (miles de toneladas)	SUPERF. (m ²)	Carga por superficie de almacenamiento (Tonelada/m ²)	Probabilidad de no superación (%)
Santander	Raos 7	General Convencional	1	79.068	0,01	0,00%
Vigo	Muelle del comercio	General Convencional	13	12.440	1,05	4,95%
Almería	Ribera 2ª Alineación	General convencional	97	55.004	1,76	11,22%
Marín - Pontevedra	Comercial Sur	General convencional	11	4.527	2,43	17,14%
Alcudia	Ribera Dientes	General convencional	60	19.138	3,14	23,07%
Ferrol - San Ciprao	Nuevo Muelle	General convencional	72	19.015	3,79	28,10%
La Coruña	Langosteira	General convencional	226	55.944	4,04	29,95%

PUERTO	MUELLE	TIPO DE MERCANCÍA	DEMANDA (miles de toneladas)	SUPERF. (m ²)	Carga por superficie de almacenamiento (Tonelada/m ²)	Probabilidad de no superación (%)
Bilbao	Reina Victoria eugenia	General convencional	237	48.865	4,85	35,42%
Almería	Ribera 1ª Alineación	General convencional	241	35.534	6,78	46,21%
Huelva	Muelle Levante	General convencional	197	27.160	7,25	48,43%
Bilbao	Vizcaya	General convencional	908	120.556	7,53	49,68%
Bilbao	Príncipe de Asturias	General convencional	1.451	169.749	8,55	53,87%
Gijón	Espigón I	General convencional	497	36.332	13,68	68,72%
Vigo	Transversal	General Convencional	170	9.060	18,76	77,36%
Palma de Mallorca	Testero / Muelles Comerciales / Muelles Adosado	General convencional	1.677	72.803	23,03	82,15%
Ceuta	Poniente 4ª Alineación	General Convencional	319	11.637	27,41	85,68%
Marín - Pontevedra	Comercial de Marín	General convencional	202	5.674	35,60	90,03%
Barcelona	Costa / Ponent	General convencional	3.890	77.700	50,06	94,14%

Fuente: Elaboración propia

(Por su escaso uso, a la hora de realizar los cálculos no se ha considerado el muelle Raos 7, del Puerto de Santander)

Verificando la bondad de ajuste mediante el test de la chi cuadrado, el valor del estadístico χ^2 es $\chi^2 = 0,94$, puesto que $0,94 < 9,49$, se acepta, para $\alpha=0,05$, el ajuste de los datos a una distribución tipo log-normal.

Al igual que en anteriores apartados, se muestra a continuación los valores límites de los intervalos que establecen las diferentes categorías de intensidades de uso.

TABLA B.10 VALORES PARA LAS DIFERENTES INTENSIDADES DE USO EN ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍA GENERAL

Zona de Almacenamiento de Mercancía General	25 – 75 %	40 – 80 %
INTENSIDAD DE USO REDUCIDA	<3	<6
INTENSIDAD DE USO MEDIA	[3, 17]	[6, 21]
INTENSIDAD DE USO ELEVADA	>17	>21

Fuente: Elaboración propia

B 3.6 Zonas de almacenamiento de contenedores

TABLA B.11 VALORES DE CARGA POR METRO DE ATRAQUE EN LAS ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

PUERTO	MUELLE	TIPO DE MERCANCÍA	DEMANDA (miles de TEU 's para contenedores)	SUPERFICIE (m ²)	Carga por superficie de almacenamiento (TEU's/m ² para contenedores)	Probabilidad de no superación (%)
Las Palmas	Gran Canaria	Contenedores	2	169.937	0,01	2,14%
Cádiz	Reina Sofía	Contenedores	56	292.908	0,19	23,92%
Valencia	Príncipe Felipe / Este (Noatum)	Contenedores	176	872.026	0,20	24,72%
Valencia	Levante TCV	Contenedores	64	311.000	0,21	25,01%

PUERTO	MUELLE	TIPO DE MERCANCÍA	DEMANDA (miles de TEU's para contenedores)	SUPERFICIE (m ²)	Carga por superficie de almacenamiento (TEU's/m ² para contenedores)	Probabilidad de no superación (%)
Barcelona	Princep D'Espanya / Dársena Sud	Contenedores	107	349.415	0,31	31,34%
Tarragona	Andalucía	Contenedores	132	300.793	0,44	37,59%
Valencia	Levante tramo 2 (MSC)	Contenedores	155	335.000	0,46	38,54%
Gijón	De la Osa, 7 ^a y 8 ^a Alineación	Contenedores	63	82.213	0,77	47,89%
Cartagena	Santa Lucía	Contenedores	88	109.495	0,80	48,79%
Marín - Pontevedra	Nuevo Muelle Comercial	Contenedores	38	46.713	0,81	49,01%
Bilbao	Muelle A1 y A2	Contenedores	536	568.136	0,94	51,81%
Barcelona	Sud	Contenedores	593	461.282	1,29	57,59%
Castellón	Muelle del centenario	Contenedores	256	171.156	1,50	60,37%
Barcelona	Prat	Contenedores	923	564.000	1,64	62,00%
Barcelona	Adossat	Contenedores	250	145.594	1,72	62,86%
Las Palmas	Virgen del Pino	Contenedores	171	85.487	2,00	65,55%
Bahía de Algeciras	Muelle este	Contenedores	1.040	387.400	2,68	70,52%
Vigo	Guixar	Contenedores	197	63.763	3,09	72,76%
Palma de Mallorca	1 ^a Alineación del dique Oeste	Contenedores	149	45.540	3,27	73,66%
Bahía de Algeciras	Juan Carlos I	Contenedores	3.906	606.351	6,44	82,97%
Las Palmas	León y Castillo	Contenedores	948	125.071	7,58	84,84%

Fuente: Elaboración propia

Verificando la bondad de ajuste mediante el test de la chi cuadrado, el valor del estadístico Y es $Y = 6,38$, puesto que $6,38 < 9,49$, se acepta, para $\alpha = 0,05$, el ajuste de los datos a una distribución tipo log-normal.

Al igual que en anteriores apartados, se muestra a continuación los valores límites de los intervalos que establecen las diferentes categorías de intensidades de uso.

TABLA B.12 VALORES PARA LAS DIFERENTES INTENSIDADES DE USO EN ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

Zona de Almacenamiento de Contenedores	25 – 75 %	40 – 80 %
INTENSIDAD DE USO REDUCIDA	<0,2	<0,5
INTENSIDAD DE USO MEDIA	[0,2, 3,5]	[0,5, 5,0]
INTENSIDAD DE USO ELEVADA	>3,5 (3,6)	>5,0 (5,1)

Fuente: Elaboración propia

B.4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

TABLA B.13 VALORES PARA LAS DIFERENTES INTENSIDADES DE USO EN OPERACIÓN DE GRANELES SÓLIDOS COMPARADA CON ROM 4.1-94

Zonas de Operación. Graneles sólidos. (t/ml)	ROM 4.1-94	25 – 75 %	40 – 80 %
INTENSIDAD DE USO REDUCIDA	< 300	<585 (584)	<975 (973)
INTENSIDAD DE USO MEDIA	[300 - 3.000]	[585, 2990]	[975, 3660]
INTENSIDAD DE USO ELEVADA	> 3.000	>2990	>3660 (3661)

Zonas de Operación. Graneles sólidos. (t/ml)	ROM 4.1-94	25 – 75 %	40 – 80 %
ELEVADA			

Fuente: Elaboración propia

(Para la zona de operaciones la ROM 4.1-94, no distinguía por tipo de mercancía)

TABLA B.14 VALORES PARA LAS DIFERENTES INTENSIDADES DE USO EN OPERACIÓN DE MERCANCÍA GENERAL COMPARADA CON ROM 4.1-94

Zonas de Operación. Mercancía General. (t/ml)	ROM 4.1-94	25 – 75 %	40 – 80 %
INTENSIDAD DE USO REDUCIDA	< 300	<220	<385 (387)
INTENSIDAD DE USO MEDIA	[300 - 3.000]	[220, 1340]	[385, 1675]
INTENSIDAD DE USO ELEVADA	> 3.000	>1340 (1339)	>1675 (1674)

Fuente: Elaboración propia

(Para la zona de operaciones la ROM 4.1-94, no distinguía por tipo de mercancía)

TABLA B.15 VALORES PARA LAS DIFERENTES INTENSIDADES DE USO EN OPERACIÓN DE CONTENEDORES COMPARADA CON ROM 4.1-94

Zonas de Operación. Contenedores. (TEUs/ml)	ROM 4.1-94	25 – 75 %	40 – 80 %
INTENSIDAD DE USO REDUCIDA	< 27	<75 (76)	<140
INTENSIDAD DE USO MEDIA	[27 - 273]	[75, 535]	[140, 680]
INTENSIDAD DE USO ELEVADA	> 273	>535 (536)	>680 (682)

Fuente: Elaboración propia

(Para la zona de operaciones la ROM 4.1-94, no distinguía por tipo de mercancía, para comparar valores, en el caso de contenedores, se hace la conversión 1 TEU= 11 tm)

TABLA B.16 VALORES PARA LAS DIFERENTES INTENSIDADES DE USO EN ALMACENAMIENTO DE GRANELES SÓLIDOS COMPARADA CON ROM 4.1-94

Zona de Almacenamiento de Graneles Sólidos (t/m²)	ROM 4.1-94	25 – 75 %	40 – 80 %
INTENSIDAD DE USO REDUCIDA	< 6	<5	<10 (11)
INTENSIDAD DE USO MEDIA	[6 - 60]	[5, 55]	[10, 75]
INTENSIDAD DE USO ELEVADA	> 60	>55 (57)	>75 (77)

Fuente: Elaboración propia

TABLA B.17 VALORES PARA LAS DIFERENTES INTENSIDADES DE USO EN ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍA GENERAL COMPARADA CON ROM 4.1-94

Zona de Almacenamiento de Mercancía General (t/m²)	ROM 4.1-94	25 – 75 %	40 – 80 %
INTENSIDAD DE USO REDUCIDA	< 2	<3	<6
INTENSIDAD DE USO MEDIA	[2 - 20]	[3, 17]	[6, 21]
INTENSIDAD DE USO ELEVADA	> 20	>17	>21

Fuente: Elaboración propia

TABLA B.18 VALORES PARA LAS DIFERENTES INTENSIDADES DE USO EN ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES COMPARADA CON ROM 4.1-94

Zona de Almacenamiento de Contenedores (TEUs/m²)	ROM 4.1-94	25 – 75 %	40 – 80 %
INTENSIDAD DE USO REDUCIDA	< 0,2	<0,2	<0,5
INTENSIDAD DE USO MEDIA	[0,2 – 2]	[0,2, 3,5]	[0,5, 5,0]
INTENSIDAD DE USO ELEVADA	> 2	>3,5 (3,6)	>5,0 (5,1)

ELEVADA			
---------	--	--	--

Fuente: Elaboración propia