

ROM 4.1-94

**PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE
PAVIMENTOS PORTUARIOS**

OBRAS MARITIMAS

TECNOLOGIA



Puertos del Estado



**Ministerio de Obras Públicas, Transportes
y Medio Ambiente**

1 9 9 4

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	9
PARTE 1. GENERAL	11
1.1. ÁMBITO DE APLICACIÓN	15
1.2. CONTENIDO	15
1.3. DEFINICIONES	16
1.4. SISTEMA DE UNIDADES	20
1.5. NOTACIONES	20
1.6. REFERENCIAS DOCUMENTALES	24
PARTE 2. USOS DE LAS SUPERFICIES TERRESTRES PORTUARIAS	27
2.1. INTRODUCCIÓN	31
2.2. USO COMERCIAL	31
2.3. OTROS USOS	35
PARTE 3. CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS EN LAS SUPERFICIES PORTUARIAS	37
3.1. ESTUDIO DE CARGAS	41
3.2. ÍNDICES DE INTENSIDAD DE USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS	50
3.3. CARGAS DE CÁLCULO SEGÚN EL USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS	53
3.4. INTENSIDAD DE USO SEGÚN EL USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS	59
3.5. CATEGORÍAS DE TRÁFICO	61

PARTE 4. RELLENOS Y EXPLANADAS	63
4.1. INTRODUCCIÓN	67
4.2. RELLENOS	67
4.3. EXPLANADAS	72
PARTE 5. MATERIALES PARA FIRMES Y PAVIMENTOS	77
5.1. UNIDADES DE OBRA PARA CAPAS INFERIORES	81
5.2. UNIDADES DE OBRA PARA PAVIMENTOS	82
5.3. COMENTARIO FINAL	87
PARTE 6. DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES PORTUARIOS	89
6.1. INTRODUCCIÓN	93
6.2. FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO DE LOS FIRMES PORTUARIOS	93
6.3. BASES DEL CATÁLOGO	94
6.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE DIMENSIONAMIENTO MEDIANTE EL EMPLEO DEL CATÁLOGO	95
PARTE 7. PRESCRIPCIONES DE PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN	99
7.1. INTRODUCCIÓN	103
7.2. PRESCRIPCIONES QUE DEBEN CUMPLIR LAS CORONACIONES DE LOS RELLENOS	103
7.3. PRESCRIPCIONES QUE DEBEN CUMPLIR LAS UNIDADES DE OBRA DE FIRME	104
7.4. CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS	113
7.5. DETALLES CONSTRUCTIVOS	114
7.6. EVACUACIÓN DE PLUVIALES	115
C. CATÁLOGO DE SECCIONES ESTRUCTURALES NORMALIZADAS	117
C.1. BASES DE UTILIZACIÓN	121
C.2. COMENTARIOS GENERALES	121
C.3. FICHAS DEL CATÁLOGO	122

ANEJO A. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL DIMENSIONAMIENTO.....	159
A.1. INTRODUCCIÓN	163
A.2. MÉTODOS ANALÍTICOS.....	163
A.3. MÉTODOS EMPÍRICOS.....	167
A.4. REFERENCIAS ESPECÍFICAS	168

INTRODUCCIÓN

Las *Recomendaciones para el proyecto y construcción de pavimentos portuarios* (ROM 4.1) se inscriben en el Programa ROM de *Recomendaciones para Obras Marítimas* emprendido por Puertos del Estado. El Programa pretende ser la base de una futura instrucción española en este campo de la ingeniería, habiéndose iniciado en 1987 con la constitución de la primera Comisión Técnica. El mandato de la misma era redactar un conjunto de recomendaciones que reunieran la tecnología más avanzada en el campo de la ingeniería marítima y portuaria y que se constituyeran en 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 el fácil acceso a la información especializada necesaria para el desarrollo de sus trabajos.

En 1990 se publicó la primera recomendación del Programa: ROM 0.2-90 Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias, habiéndose publicado hasta la fecha las siguientes:

ROM 0.2-90 Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias.*

ROM 0.3-91 Acciones Medioambientales I: Oleaje. Anejo I: Clima Marítimo en el Litoral Español.*

ROM 0.5-94 Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas.

ROM 4.1-94 Recomendaciones para el Proyecto y Construcción de Pavimentos Portuarios*.

La ROM 4.1-94 RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS PORTUARIOS ha sido redactada por la Comisión Técnica designada al efecto por la Presidencia de Puertos del Estado, bajo la responsabilidad orgánica de la Dirección Técnica.

Los miembros de dicha Comisión y los Organismos a los que pertenecen son los siguientes:

— PRESIDENTE:	Juan Muñoz Mitchell	(Puertos del Estado)
— DIRECTOR DEL PROGRAMA:	Francisco Esteban Rodríguez-Sedano	(Puertos del Estado)
— SECRETARIA DEL PROGRAMA:	José Llorca Ortega	(Puertos del Estado)
	Itziar Rodríguez Aguirre	(Puertos del Estado)
— VOCALES:	Alberto Bardesi	(Composan Distribución)
	Carlos Jofré	(IECA)
	Eloy Pita Carpenter	(Puertos del Estado)
	Javier Rodríguez Besné	(Puertos del Estado)
	Jaime Ronda	(A. Portuaria de Valencia)
	Aurelio Ruiz	(C. E. de Carreteras CEDEX)
	Rafael Sáenz de Navarrete	(A. Portuaria de Barcelona)
	Antonio Soriano	(Ingeniería del Suelo, S.A.)
	Javier Uzcanga	(A. Portuaria de Bilbao)
— PONENCIA:	Carlos Kraemer	(ETSICCP. U. Politécnica de Madrid)
	Miguel Ángel del Val	(ETSICCP. U. Politécnica de Madrid)

La redacción de la ROM 4.1 se basa en la existencia, dentro del mismo Programa ROM, de unas *Recomendaciones sobre las Acciones a considerar en el Proyecto y Construcción de Obras Marítimas* (ROM 0.2), publicadas en 1990, y de unas *Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas* (ROM 0.5), elaboradas simultáneamente con este documento. Otras bases de partida de la ROM 4.1 han sido las siguientes:

- La experiencia existente en España en pavimentación portuaria, evaluada a través de una encuesta realizada entre las veintisiete Autoridades Portuarias del Estado.
- Las recomendaciones emanadas de diversos organismos y entidades, especialmente UNCTAD y PIANC.
- El manual denominado *The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and Other Industries* (1988), de la *British Ports Association* (actualmente *British Ports Federation*)

* Disponible en Versión Inglesa

- La normativa española de firmes de carreteras plasmada en el *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes*, en las órdenes ministeriales y circulares que lo modifican parcialmente y en la *Instrucción 6.1. y 2 IC (1989) de Secciones de Firme*.

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 normalización de secciones estructurales de firme se persiguen unos objetivos similares a los que en su día se plantearon en carreteras 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.
- 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.

No se incluye el análisis detallado de las condiciones para el proyecto y construcción de soleras de hormigón armado, las cuales pueden ser necesarias en casos especiales en zonas de estacionamiento y almacenamiento en función de los distintos sistemas de apoyo de las mercancías o de las instalaciones auxiliares de transporte (p.e. contenedores).

De todas formas se trata simplemente de un primer paso, dada la escasez de referencias nacionales e internacionales, y como tal debe considerarse. Además se parte de una situación en la que la atención prestada al tema ha sido limitada, a pesar de la incidencia de los pavimentos portuarios en las distintas fases de la explotación. A partir de este momento se abre un proceso de auscultación y seguimiento metodológico de los firmes portuarios proyectados según estas Recomendaciones, con el objetivo final de ajustarlo en posteriores ediciones en función del comportamiento real observado.

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 y magnitud de las cargas que actúan sobre los pavimentos portuarios, la mala calidad en general de los materiales que constituyen los rellenos y los fondos marinos en los que se apoyan y la propia complejidad de las operaciones portuarias.

Las Recomendaciones incluidas en este documento deben entenderse como una Guía de «Buena Práctica», lo cual no exime del cumplimiento de Normas o Códigos de carácter oficial que pudieran ser de aplicación.

La Comisión Técnica analizará todos los comentarios, sugerencias e iniciativas que le puedan ser hechas sobre el contenido de la ROM 4.1-94 RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS PORTUARIOS, las cuales serán tomadas en consideración en posteriores versiones de la citada Recomendación. Dichas observaciones deberán ser remitidas a:

DEPARTAMENTO TÉCNICO DE TECNOLOGÍA Y NORMATIVA

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

Teléfono 34-1-5245567
Fax 34-1-5245506

ABRIL 1994

1.1.	ÁMBITO DE APLICACIÓN	15
1.2.	CONTENIDO	15
1.3	DEFINICIONES	16
1.4	SISTEMA DE UNIDADES.....	20
1.5	NOTACIONES.....	20
1.6	REFERENCIAS DOCUMENTALES.....	24

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 de 15 años o más. Sin embargo, no se excluyen los firmes provisionales, con vidas útiles de hasta 8 años, que tradicionalmente se han empleado en los puertos en la medida en que se cuenta con rellenos no tratados cuyos asientos se producen a lo largo de años y sobre cuyas superficies se desarrollan actividades para las que los asientos que se producen no suponen un grave inconveniente.

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 siete partes más un catálogo de secciones estructurales normalizadas:

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 cimientamiento 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, 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.

Catálogo de secciones estructurales normalizadas. En diversas fichas se presenta 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.

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 otras ROM. 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.

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

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

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 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.

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. En el caso más completo suele estar constituido por el pavimento, la base y la subbase.

FIRME DEFINITIVO: El que se proyecta y construye para una vida útil no inferior a quince 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, como es el caso de los formados por capas granulares y capas asfálticas de pequeño espesor.

FIRME PROVISIONAL: El que se proyecta y construye para una vida útil de hasta ocho años, con el objeto de que durante la misma se produzcan los asentamientos y deformaciones esperados en la explanada.

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 éste último caso con barras o con fibras.

FIRME SEMIRRÍGIDO: El que tiene deflexiones intermedias entre los firmes flexibles y rígidos, como los que tienen una capa de base tratada.

GRANEL LÍQUIDO: Producto que se manipula en forma líquida sin transportarse en envases sueltos de pequeña capacidad relativa.

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 y graneles pesados.

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

GRAVACIMIENTO: 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.

GRAVAEMULSIÓN: 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.

GRAVAESCORIA: 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.

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 con los extremos conformados con el objeto principalmente de aumentar la elongación en rotura y la resistencia al impacto.

HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO: Material empleado en la construcción de firmes y de otras obras civiles, compuesto por una mezcla, realizada en central, de áridos parcial o totalmente triturados, una cantidad de cemento similar a la de un hormigón vibrado, agua y, a veces, adiciones, que se extiende y compacta con equipos convencionales de construcción de carreteras para formar, en el caso de los firmes, capas de base o pavimentos con espesores que varían normalmente entre 15 y 35 cm.

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 (de 15 a 40 cm habitualmente), 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 y se denomina por las iniciales HP seguidas por el valor de dicha resistencia expresado en kp/cm^2 .

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 deter-

minada 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.

LECHADA BITUMINOSA: Mezcla de áridos de tamaño máximo reducido, emulsión bituminosa de rotura lenta, agua y, en ocasiones, polvo mineral de aportación y adiciones, cuya consistencia a temperatura ambiente permite su extensión mediante una rastra con maestra de goma; se emplea como tratamiento superficial en pavimentaciones y para impermeabilizaciones.

LECHO DE GRAVA: Zona acotada en el interior de la cual se disponen en un espesor aproximado de 30 a 40 cm áridos totalmente triturados con granulometría uniforme con el exclusivo fin de apilar contenedores.

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

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.

PAVIMENTO PERCOLADO: Pavimento asfáltico formado por una mezcla bituminosa abierta a través de cuyos huecos se introduce una mezcla de lechada de cemento y resinas.

PLACA PREFABRICADA DE HORMIGÓN: Placa de hormigón vibrado en masa o armado de dimensiones relativamente reducidas que fabricada en taller se puede utilizar en la pavimentación de algunas superficies.

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.

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 monoca; si se repite, se denomina entonces riego bicapa.

SEMIREMOLQUE: 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.

SUELOCIMIENTO: 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 a un contenedor de 20 pies (*Transport Equivalent Unit*).

TODO 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 a 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: $1 \text{ t} = 1000 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 9,8 \text{ kN}$; inversamente, $1 \text{ kN} = 0,102 \text{ t}$. 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) ($1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$) Tonelada (t) ($1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$)
Tiempo	Segundo (s)	Hora (h) ($1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$)
Temperatura	Grado Kelvin ($^{\circ}\text{K}$)	
Fuerza	Newton (N) ($1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2$)	Kilonewton (kN) ($1 \text{ kN} = 10^3 \text{ N}$)
Presión	Pascal (Pa) ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$)	Megapascal (MPa) ($1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$)
Tensión	Pascal (Pa) ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$)	Megapascal (MPa) ($1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$)
Energía	Joule (J) ($1 \text{ J} = 1 \text{ N.m}$)	Kilojoule (kJ) ($1 \text{ kJ} = 10^3 \text{ J}$)
Potencia	Watt (W) ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$)	Kilowatt (kW) ($1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$)

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
E0	Designación de categoría de explanada deficiente.	—
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 segundo 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. (Continuación)		
SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDAD
$I_{1.1^{**}}$	índice de explotación representativo de la intensidad de uso en zonas de operación de uso comercial.	t/m
$I_{1.2}$	ídem en zonas de almacenamiento de graneles sólidos.	t/m ²
$I_{1.3}$	ídem en zonas de almacenamiento de mercancía general.	t/m ²
$I_{1.4}$	ídem en zonas de almacenamiento de contenedores.	TEU/m ²
$I_{1.5}$	ídem en zonas de estacionamiento de semirremolques.	TEU/m ²
$I_{1.5'}$	ídem en zonas de estacionamiento de semirremolques. no destinadas en exclusiva a este fin.	t/m ²
$I_{2.1}$	ídem en zonas de operación de uso industrial.	t/m ²
$I_{2.2}$	ídem en zonas de almacenamiento de uso industrial.	t/m ²
$I_{3.1}$	ídem en zonas de operación de uso militar.	t/m ²
$I_{3.2}$	ídem en zonas de almacenamiento de uso militar.	t/m ²
$I_{4.1}$	ídem en zonas de operación de uso pesquero.	t/m ²
$I_{4.2}$	ídem en zonas de clasificación, preparación y venta de uso pesquero.	t/m ²
I_5	ídem en zonas de operación o varada de uso deportivo.	*
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. (Continuación)		
III. GRIEGAS		
SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDAD
γ	Peso específico de un material o mercancía estacionado o almacenado en las condiciones ambientales más desfavorables.	kN/m ³
ν	Coeficiente de Poisson.	*
$\sigma_{\text{máx}}$	Tensión máxima de tracción en una capa de firme.	MPa
\emptyset	Ángulo de rozamiento interno de un granel sólido.	*
IV. ABREVIATURAS		
ABREVIATURA	SIGNIFICADO	
BC	Relleno de buena calidad consolidado.	
BNC	Relleno de buena calidad no 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.	
MNC	Relleno de mala calidad no consolidado.	
RC	Relleno de regular calidad consolidado.	
RNC	Relleno de regular calidad no consolidado.	
ROM	Recomendaciones para obras marítimas.	
TEU	<i>Transport Equivalent Unit.</i>	
UNCTAD	<i>United Nations Conference for Trade and Development.</i>	
<p>LEYENDA:</p> <p>* : Magnitud adimensional</p> <p>** : El significado de los subíndices correspondientes a los Índices de Explotación es el siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> — El primer subíndice indica Usos. Así 1 significa Uso Comercial; 2 Uso Industrial; 3 Uso Militar; 4 Uso Pesquero y 5 Uso Deportivo. — El segundo subíndice indica zona. Así 1 significa zona de operación; 2, 3 y 4 zonas de almacenamiento; y 5 zonas de estacionamiento. 		

1.6. REFERENCIAS DOCUMENTALES

- [1] BRITISH PORTS ASSOCIATION (1988): "The structural design of heavy duty pavements for ports and other industries".
- [2] DEL MORAL, R.; BERENGUER, J. M^a (1980): "Obras Marítimas", Curso de ingeniería de puertos y costas, tomo II, Centro de Estudios y Experimentación de Puertos y Costas.
- [3] DíEZ, J.J. (1975): "Pavimentos industriales de hormigón". Monografía n^o 8 de la Agrupación de Fabricantes de Cemento de España.
- [4] DIRECCIÓN GENERAL DE PUERTOS Y COSTAS (1990): "Recomendaciones para obras marítimas ROM 0.2-90. Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias".
- [5] FERNÁNDEZ, M.; LUCEA, I. (1984): "Hormigones armados con fibras de acero. Ejemplos recientes de aplicación". II Jornadas sobre Pavimentos de Hormigón.
- [6] HENDRIKX, L. (1990): "Concrete pavements on industrial and ports areas. The Belgian experience". Sexto Simposio Internacional sobre Carreteras de Hormigón. Madrid, 1990.
- [7] HOLDE, J.; Mc COOMB, L.A. (1984): "Design, construction and performance of test pavements at the port of Montreal". Second International Conference on Concrete Block Paving". Delft. Vol. 1, pág. 21-28.
- [8] INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES (1989): "Manual de pavimentos de adoquines de hormigón".
- [9] KNAPTON, J. (1982): "An introduction port pavement design manual". Port Engineering. Cargo Systems.
- [10] KNAPTON, J. (1984): "Concrete block pavement design in the U.K.". Second International Conference on Concrete Block Paving. Delft. Vol. 1, pág. 129-138.
- [11] KNAPTON, J.; BARBER, S.D. (1980): "Terminal surfacing-higher loads to support". Port Engineering. Cargo Systems.
- [12] KNAPTON, J.; BARBER, S.D. (1979, 1980): "Port pavement loading". The Dock and Harbour Authority. Vol. 59, n^o 701, pág. 379-386 y Vol. 60, n^o 712, pág. 362-367.
- [13] KNAPTON, J.; BARBER, S.D. (1982): "U.K. research into concrete block pavement design". Concrete Works International.
- [14] KNOWLES, R.B. (1992): "Performance of a trial heavy duty interlocking concrete block pavements at the port of Lyttleton". Fourth International Conference of Concrete Block Paving. New Zealand. Vol. 2, pág. 231-240.
- [15] KRAEMER, C.; DEL VAL, M.A. (1993): "Firmes y Pavimentos", 320 pág., Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid.
- [16] LACLETA, A. (1980-1981): "Viales, pavimentos y servicios". I Curso Iberoamericano de Planificación, Explotación y Dirección de Puertos".
- [17] MACKAY, H.J. (1984): "Design of paved areas for industrial usage". Second International Conference on Concrete Block Paving. Delft. Vol. 1, pág. 72-79.
- [18] MOPU (1988): "Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras (PG-4)", O.M. de 21 de enero de 1988, BOE de 3 de febrero (está formado por el PG-3 de 1975 más las modificaciones realizadas a partir de 1986 mediante Órdenes Ministeriales y Circulares), Dirección General de Carreteras, Madrid.
- [19] MOPU (1989): "Instrucción 6.1 y 2 IC. Secciones de firme", 200 pág., Área de Tecnología de la Dirección General de Carreteras, Madrid.
- [20] OLDFIELD, D. (1992): "Webb dock container terminal pavements ten years on". Fourth International Conference of Concrete Block Paving. New Zealand. Vol. 2, pág. 209-216.
- [21] PINO, B.E. (1992): "Container pavements in Indonesia using cement treated base and concrete block pavement". Fourth International Conference of Concrete Block Paving. New Zealand. Vol. 2, pág. 241-252.
- [22] SOLER, R. (1979): "índices portuarios españoles". Revista de Obras Públicas.
- [23] SOLER, R. et al. (1980): "índices portuarios españoles". Revista de Obras Públicas.

- [24] UNCTAD (1989, 1990): "Container Terminal Pavement Management". Monografía nº5 sobre Gestión de Puertos y suplemento a la Monografía nº5. Naciones Unidas. Nueva York.
- [25] VANDEWALLE, M. (1990): "The use of steel fibre reinforced concrete in heavy duty port pavements". Sexto Simposio Internacional sobre Carreteras de Hormigón. Madrid, 1990.
- [26] VARIOS AUTORES (1985): Curso sobre rellenos y pavimentos portuarios. Puerto Autonomo de Valencia.
- [27] VARIOS AUTORES (1988): Curso sobre geotecnia aplicada a las obras portuarias. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- [28] VIGUERAS, M. (1977): "El puerto y sus actividades". Curso de Explotación y Dirección de Puertos, tomo I, ETSICCP de Madrid.

2.1. INTRODUCCIÓN	31
2.2. USO COMERCIAL	31
2.2.1. ZONAS DE OPERACIÓN	31
2.2.2. ZONAS DE ALMACENAMIENTO	33
2.2.3. VIAS DE COMUNICACIÓN	34
2.2.4. ZONAS COMPLEMENTARIAS	34
2.3. OTROS USOS	35
2.3.1. USO INDUSTRIAL	35
2.3.2. USO MILITAR	35
2.3.3. USO PESQUERO	35
2.3.4. USO DEPORTIVO	35

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 de 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 pesados.
- 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).

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 <ul style="list-style-type: none"> • 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 O VARADA	Grandes embarcaciones
		Pequeñas embarcaciones
	COMPLEMENTARIAS	Circulación
		Estacionamiento

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 LIQUIDOS

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 SOLIDOS

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 MERCANCIA GENERAL

Hay que distinguir en función de que se trate de mercancía genera 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 las zonas complementarias de estacionamiento, 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,...). 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, PREPARACION 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 OPERACION 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.

3.1. ESTUDIO DE CARGAS	41
3.1.1. CARGAS DE ESTACIONAMIENTO O ALMACENAMIENTO	41
3.1.2. CARGAS DE LOS EQUIPOS E INSTALACIONES DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS	45
3.1.3. CARGAS DE LOS EQUIPOS DE ELEVACIÓN DE EMBARCACIONES	47
3.1.4. CARGAS DEL TRÁFICO PESADO CONVENCIONAL	50
3.2. ÍNDICES DE INTENSIDAD DE USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS.....	50
3.2.1. USO COMERCIAL	51
3.2.2. USO INDUSTRIAL	52
3.2.3. USO MILITAR	52
3.2.4. USO PESQUERO	52
3.2.5. USO DEPORTIVO	53
3.3. CARGAS DE CÁLCULO SEGÚN EL USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS	53
3.3.1. USO COMERCIAL	54
3.3.2. USO INDUSTRIAL	57
3.3.3. USO MILITAR	57
3.3.4. USO PESQUERO	58
3.3.5. USO DEPORTIVO	58
3.4. INTENSIDAD DE USO SEGÚN EL USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS	59
3.4.1. USO COMERCIAL	59
3.4.2. USO INDUSTRIAL	60
3.4.3. USO MILITAR	60
3.4.4. USO PESQUERO	61
3.4.5. USO DEPORTIVO	61
3.5. CATEGORÍAS DE TRÁFICO	61

En cada una de las distintas zonas diferenciadas en la Parte 2 se clasifican las cargas actuantes. En primer lugar se clasifican por su efectos sobre los firmes, 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 las cargas esperadas, es decir, de la carga de cálculo, y de la intensidad de uso de la superficie.

3.1. ESTUDIO DE CARGAS

Se diferencian por un lado las cargas 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). Finalmente hay que considerar en los casos que corresponda las cargas del tráfico pesado convencional (vehículos de carretera). En estas Recomendaciones, el tratamiento de unas y otras cargas o acciones se ha simplificado con respecto al planteamiento contenido en ROM 0.2-90, lo que no obsta para que el proyectista, en la medida en que disponga de datos suficientes, proceda de acuerdo con dicho planteamiento.

3.1.1. CARGAS DE ESTACIONAMIENTO O ALMACENAMIENTO

Son cargas de naturaleza variable, debidas fundamentalmente al peso de mercancías, almacenadas o apiladas bien directamente sobre la superficie o en el interior de elementos auxiliares para su transporte y manipulación (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, tomando en consideración los siguientes factores:

- Naturaleza de la mercancía depositada o apilada, con sus características físicas como pueden ser en su caso 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.
- Cantidad máxima que puede manipularse.
- Métodos y equipos de manipulación.

Estas cargas se consideran verticales, repartidas o concentradas según la naturaleza de los materiales apilados o almacenados y su forma de actuación o apoyo; son cargas cuya actuación no supone aceleraciones significativas en los firmes. A los efectos del dimensionamiento de éstos, 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.

Se tomará para cada material:

$$Q_{v1} = \gamma \cdot H_a \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

siendo:

Q_{v1} Carga por área elemental.

γ Peso específico aparente del material estacionado o almacenado en las condiciones ambientales más desfavorables en kN/m^3 . Los valores de dichos pesos específicos se pueden obtener en la tabla 3.4.2.3.1.1 de ROM 0.2-90.

H_a Altura máxima de almacenamiento o estacionamiento transitorio del material considerado en m.

La altura máxima depende fundamentalmente de :

- Zona considerada y uso de la misma.
- Naturaleza y tipo de material.
- Instalaciones y métodos de manipulación.
- Lugar de almacenamiento.

El 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, está recogido en la misma tabla citada de ROM 0.2-90.

Por su parte, los valores más usuales de H_a están recogidos en la tabla 3.4.2.3.1.2 de ROM 0.2-90.

A falta de criterios específicos de proyecto o de explotación se tomarán las siguientes presiones de contacto de almacenamiento de graneles sólidos:

- En zonas de operación:

Graneles sólidos ordinarios: 0,04 MPa

Graneles sólidos pesados: 0,07 MPa

- En zonas de almacenamiento o estacionamiento:

Graneles sólidos ordinarios: 0,08 MPa

Graneles sólidos pesados: 0,15 MPa

Por último hay que señalar, que todas estas sobrecargas fijas de almacenamiento o estacionamiento serán únicamente aplicables a la fase de servicio del pavimento que se esté considerando en cada momento.

3.1.1.2. CARGAS DE ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍA GENERAL

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).

Se tomará para cada mercancía:

$$Q_{v1} = \gamma \cdot H_a \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

siendo:

Q_{v1} Carga por área elemental.

γ Peso específico aparente de la mercancía estacionada o almacenada en las condiciones ambientales más desfavorables en kN/m^3 . Los valores de dichos pesos específicos se pueden obtener en la tabla 3.4.2.3.1.1 de ROM 0.2-90.

H_a Altura máxima de almacenamiento o estacionamiento transitorio de la mercancía considerada en m.

La altura máxima depende fundamentalmente de :

- Zona considerada y uso de la misma.
- Naturaleza y tipo de mercancía.

- Forma de estacionamiento o almacenamiento.
- Instalaciones y métodos de manipulación.
- Lugar de almacenamiento.

Los valores más usuales de H_a están en la tabla 3.4.2.3.1.2 de ROM 0.2-90.

Por otro lado, debe considerarse que pueden presentarse cargas concentradas producidas por productos manufacturados (productos siderúrgicos, prefabricados de hormigón, etc.) apoyados sobre durmientes, con presiones de contacto de hasta 2,5 MPa. A falta de criterios específicos de proyecto o de explotación se tomarán las siguientes cargas y presiones de contacto de almacenamiento de mercancía general:

- En zonas de operación:

Mercancía general convencional:	400 kN y 0,8 MPa
Mercancía general pesada:	900 kN y 1,8 MPa
- En zonas de almacenamiento o estacionamiento:

Mercancía general convencional:	700 kN y 1,5 MPa
Mercancía general pesada:	1200 kN y 2,0 MPa

Por último hay que señalar, que todas estas sobrecargas fijas de almacenamiento o estacionamiento serán únicamente aplicables a la fase de servicio del pavimento que se esté considerando en cada momento.

3.1.1.3. CARGAS EN ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

Las cargas de los contenedores se transmiten al firme por elementos de apoyo de $0,178 \times 0,162 \text{ m}^2$ 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).

La unidad de medida en el transporte de los contenedores es el TEU (*Transport Equivalent Unit*) o contenedor equivalente de 20 pies de longitud. Los 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) y 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 (véase apartado 3.1.1.4).

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 o en fila múltiple o bloque), de las alturas empleadas (de una a cinco alturas generalmente, aunque puede sobrepasar esta última altura), 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 3.1 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).

La probabilidad de que todos los contenedores estén totalmente cargados en altura es en principio relativamente pequeña y depende de los criterios específicos de explotación de la instalación. Por esta razón, para la estimación de las cargas aplicadas algunos autores (BPA) propugnan la introducción de coeficientes reductores de peso según la altura de almace-

TABLA 3.1. DISTRIBUCIONES Y ALTURAS MÁXIMAS USUALES EN EL ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES		
EQUIPO DE MANIPULACIÓN	FORMA DE DISTRIBUCIÓN	ALTURA MAX. N.º CONTENEDORES
Cargador frontal	Filas simples o dobles	4
Cargador lateral	Filas simples o dobles	4
Carretilla pórtico	Filas simples	3
Grúa automóvil	Bloque pequeño	4
<i>Transtainer</i> (Luz media, < 30 m)	Bloque mediano	4
<i>Transtainer</i> (Luz grande, > 30 m)	Bloque grande	5

miento (hasta el 40 % para apilamientos en 5 alturas). Sin embargo, hay sistemas de explotación en los cuales los contenedores se agrupan por su carga, con lo cual pueden darse apilamientos de cinco contenedores totalmente cargados.

A falta de datos específicos fijados en el proyecto o por criterios de explotación portuaria, las cargas a considerar para el dimensionamiento de los firmes en las zonas de almacenamiento de contenedores serían las correspondientes a almacenamientos de 40 pies en bloque y en cinco alturas: 1524 kN aplicados en un área de 0,356 x 0,324 m² (lo que supone una presión sobre el pavimento de 13,2 MPa), aunque una situación muy común es la de almacenamiento en un máximo de 3 alturas (la carga en cada apoyo interior del bloque sería entonces de 914 kN y la presión de 7,9 MPa).

Estas cargas y presiones tan sumamente elevadas hacen que sólo con ciertos pavimentos pueda garantizarse absolutamente que el depósito de contenedores no va a producir deterioros de ningún tipo: lechos de grava, adoquines prefabricados de hormigón y hormigón armado.

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 todo caso, el dimensionamiento será suficiente para los equipos de manipulación empleados (apartado 3.1.2).

3.1.1.4. CARGAS DE ESTACIONAMIENTO DE SEMIRREMOLQUES (ROLL-TRAILERS)

Una forma habitual de explotación portuaria es el almacenamiento sobre semirremolques (mercancía general unitizada en contenedores o en cajas móviles; a veces, sobre cajas abiertas, elementos de gran volumen como, por ejemplo, bobinas), que quedan de esta forma aparcados 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 que van provistos estos semirremolques para apoyarse en el suelo en su parte delantera cuando se encuentran desenganchados del tractor pueden producir importantes deterioros. Según dicho dispositivo los semirremolques se clasifican en tres tipos:

- Los provistos en su parte delantera de dos parejas de ruedas metálicas de 0,088 m de anchura y 0,225 m de diámetro cada una de ellas; con el semirremolque a plena carga (cargas de 140 kN en su parte delantera) pueden dar presiones de contacto de hasta 40 MPa, con una superficie de contacto teórica de 0,088 x 0,010 m².
- Los que disponen para el apoyo delantero de dos placas metálicas de 0,225 x 0,150 m², que producen una presión de contacto del orden de 2 MPa para una carga total de 140 kN en la parte delantera.

- Los que tienen un aparato de apoyo delantero consistente en una vigueta con una superficie de apoyo de $0,130 \times 2,145 \text{ m}^2$, que produce una presión de contacto sobre el pavimento de 0,5 MPa para cargas de 140 kN en la parte delantera.

En suma, y salvo en el último de los tipos descritos, se producen unas elevadas presiones de contacto. Aunque éstas pueden resultar menores en el caso de superficies de apoyo relativamente deformables, no resultan aconsejables determinados pavimentos, como por ejemplo los de mezcla bituminosa, en los que con tiempo caluroso los apoyos se incrustarían incluso varios centímetros. Sin embargo, existe 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 las zonas complementarias de estacionamiento (y siendo posible así la pavimentación con mezclas bituminosas salvo en dichas franjas).

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 las siguientes cargas y presiones: 70 kN y 40 MPa, respectivamente.

Estas cargas de estacionamiento de semirremolques hay que tenerlas en cuenta no sólo en las correspondientes zonas de uso comercial sino también en las de uso militar.

3.1.2. CARGAS DE LOS EQUIPOS E INSTALACIONES DE MANIPULACION DE MERCANCÍAS

Son las cargas de naturaleza variable transmitidas al pavimento por los sistemas y equipos de manipulación de mercancías, materiales o suministros.

El proyectista debe considerar de acuerdo con los criterios preestablecidos de planificación portuaria y los específicos del cliente o de la Autoridad Portuaria, las características de los equipos de manipulación de mercancías que operan en la zona, su ubicación y la forma en que solicitan al pavimento. El proyectista debe disponer de todos los datos relativos a los equipos concretos de manipulación que van a operar en la zona, los cuales deben ser suministrados por los fabricantes de dichos equipos. En este sentido, pueden emplearse, a falta de otros datos, los correspondientes a los equipos más usuales en zonas portuarias contenidos en las tablas 3.4.3.2.1 y 3.4.3.2.2 y fundamentalmente en la tabla 3.4.3.2.3, todas ellas de ROM 0.2-90, en las cuales se indican tanto las cargas transmitidas por los equipos como la distribución de las mismas en planta.

A los efectos de cómo se transmiten las cargas y de la influencia en el dimensionamiento de los firmes, los equipos de manipulación se pueden clasificar en función de su movilidad:

- equipos de circulación restringida, sobre carriles o sobre vigas carril;
- equipos de circulación no restringida, sobre neumáticos o sobre orugas.

En la tabla 3.2 se da un resumen de las características fundamentales de los distintos equipos de manipulación a efectos de dimensionamiento de los firmes.

Se debe considerar que posibles situaciones en las que puedan producirse cargas máximas por punto de apoyo o máximas presiones de contacto superiores a las indicadas (1100 kN y 2,6 MPa, respectivamente) requieren un análisis especial.

Por otro lado, la existencia de esfuerzos horizontales importantes (por giros, aceleraciones y frenadas, etc.) no se considera a los efectos del dimensionamiento estructural de los firmes, pero sí debe tenerse en cuenta al establecer las características superficiales que deben tener los pavimentos.

3.1.2.1. GRÚAS PORTICO (PORTAL CRANES)

Estos equipos son las grúas de muelle: se encuentran en la zona de operaciones y se dedican a la transferencia de las mercancías entre los modos terrestre y marítimo. 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. Su circulación es restringida sobre carriles y a su vez se disponen sobre vigas o sobre pilotes. Por esta razón, las cargas que transmiten no actúan sobre los firmes.

3.1.2.2. GRÚAS PORTACONTENEDORES (PORTAINERS)

Son equipos especializados en el movimiento de contenedores entre los diferentes modos de transporte y están también situados en la zona de operaciones. Disponen de una pluma aba-

TABLA 3.2. 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	450	1,1
Carretilla pórtico	130	1,1
Cargador frontal de 5 t	30	0,8
Cargador frontal de 20 t	110	0,7
Cargador frontal de 40 t	220	0,6
Cargador lateral	230	0,6
Grúa automóvil de 10 t	150	0,4
Grúa automóvil de 30 t	400	0,9
Grúa automóvil de 50 t	550	1,3
Grúa automóvil de 70 t	750	1,8
Grúa automóvil de 140 t	1100	2,6
Tractor más semirremolque de 40 t	35	2,2
Tractor más semirremolque de 80 t	70	2,2

tible formando un largo voladizo. No son giratorias, el carretón se mueve perpendicularmente al cantil y pueden desplazarse a lo largo del muelle como las grúas pórtico. Son también de circulación restringida sobre carriles cimentados en la forma descrita en el apartado anterior.

3.1.2.3. PÓRTICOS DE ALMACENAMIENTO (TRANSTAINERS)

Se dedican a la manipulación de contenedores en las zonas de almacenamiento de los mismos, incluso en 5 alturas en el caso de los pórticos con luces superiores a 30 m. Se desplazan sobre neumáticos o sobre carriles. Pueden resultar especialmente dañinos, pues transmiten cargas del orden de 450 kN por rueda y presiones de contacto de 1,1 MPa. Sin embargo, tienen circulación restringida a caminos de rodadura preestablecidos, diseñados normalmente en forma de viga; incluso, debido a que en la intersección de dos vigas es donde se producen los giros de los que llevan neumáticos, se suelen colocar en estos puntos planchas de acero con unas dimensiones de 1,5 x 1,5 m² en planta y 0,020 m de espesor. En resumen, el camino de rodadura debe ser sobre viga flotante, consiguiéndose así que el dimensionamiento de los firmes pueda independizarse de las características de estos equipos.

3.1.2.4. CARRETILLAS PÓRTICO (STRADDLE CARRIERS)

Son vehículos cargadores que circulan sin restricciones por toda la zona de maniobra y almacenamiento, destinados a la manipulación de contenedores, admitiendo almacenamientos incluso en 3 alturas. Sus ruedas pueden tomar todas las direcciones posibles, con lo que a girar ángulos rectos en muy cortos recorridos o incluso parados los grandes esfuerzos horizontales que se producen pueden causar deterioros importantes al pavimento. En el peor de los casos alcanzan hasta 260 kN por par de ruedas gemelas y presiones de contacto de hasta 1,1 MPa.

3.1.2.5. CARGADORES FRONTALES (FRONT LIFT TRUCKS O FLT)

También de circulación no restringida, son los vehículos más agresivos frente al pavimento de cuantos se utilizan en la explotación portuaria. Se emplean para manipular contenedores, admitiendo almacenamientos incluso en 4 alturas, y también 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 cargar sobre el eje delantero hasta 720 kN, lo que implica una carga por rueda de 120 kN. Esta carga puede llegar hasta 150 kN en el caso de que el vehículo esté dotado de una pluma telescópica. En el caso del cargador frontal de horquilla (*forklift*) se llegan a aplicar incluso cargas de 220 kN por rueda al manejar contenedores de 40 pies con presiones de contacto de 0.6 MPa.

3.1.2.6. CARGADORES LATERALES (SIDE LOADER LIFT TRUCKS)

Son vehículos de circulación no restringida, empleados a veces en la manipulación de mercancía general, pero sobre todo en la de contenedores, admitiendo almacenamientos incluso de 4 alturas. La situación más dañina con estos vehículos no se produce en marcha, sino en el momento de cargar o descargar, ya que se apoyan en unos gatos estabilizadores que soportan entre el 70 y el 95 % del peso conjunto del vehículo y del contenedor. El número de gatos varía entre 2 para las máquinas pequeñas y 4 para las grandes que manejan contenedores de 40 pies. En estos últimos las presiones de contacto máximas pueden llegar a 0.6 MPa, siendo la carga de 230 kN sobre cada apoyo.

3.1.2.7. GRÚAS AUTOMÓVILES (MOBILE CRANES)

Se utilizan fundamentalmente en la manipulación de mercancía general. Cuando manipulan contenedores admiten almacenamientos incluso de 4 alturas. Tienen capacidades de elevación que van, con radios cortos, de 10 a 140 t, aunque las longitudes de pluma pueden llegar a los 12 m o incluso algo más. Las peores condiciones de trabajo se producen operando lateralmente o hacia atrás sobre gatos estabilizadores. En esas circunstancias, en las grúas de 140 t la carga sobre cada apoyo es de 1100 kN con una presión de 2,6 MPa.

3.1.2.8. TRACTORES CON SEMIRREMOLQUE (ROLL-TRAILERS)

Se emplean tanto para el traslado como para el almacenamiento (en este caso desenganchando el tractor) de mercancía general y de contenedores (apartado 3.1.1.4)

3.1.3. CARGAS DE LOS EQUIPOS DE ELEVACIÓN DE EMBARCACIONES

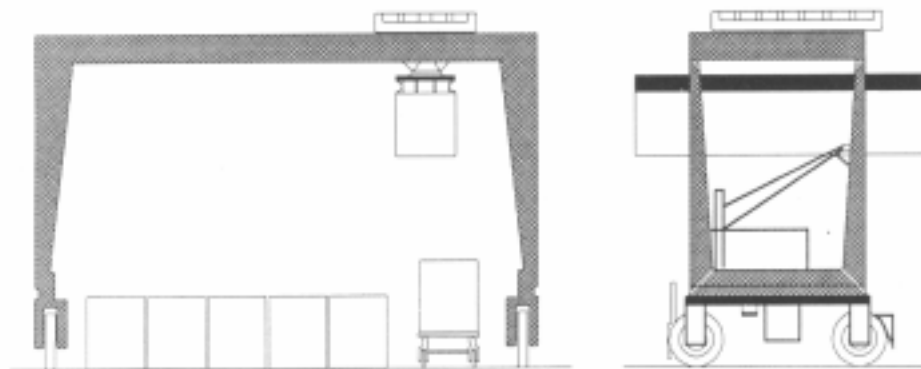
Son las cargas de naturaleza variable transmitidas al pavimento por los sistemas y equipos automóviles de elevación de barcos de pequeño desplazamiento, generalmente deportivos o de recreo. Estos equipos se encuentran normalmente en las zonas de operación o varada de los puertos o dársenas deportivos, circulando sin restricciones. Se emplean normalmente para dejar en seco y poner en flotación barcos entre 200 y 2000 kN de desplazamiento. Se denominan usualmente elevadores marinos o pórticos elevadores (*Travelifts*).

Los equipos más usuales se desplazan sobre 4 ruedas de neumáticos, transmitiendo cargas verticales por rueda del orden de 90 kN para elevadores de 200 kN de capacidad hasta 600 kN para elevadores de 1500 kN, con presiones de contacto máximas de hasta 1.1 MPa. Para pórticos elevadores de mayor capacidad de elevación pueden considerarse cargas por rueda del orden de 400 kN, desplazándose sobre 8 ruedas.

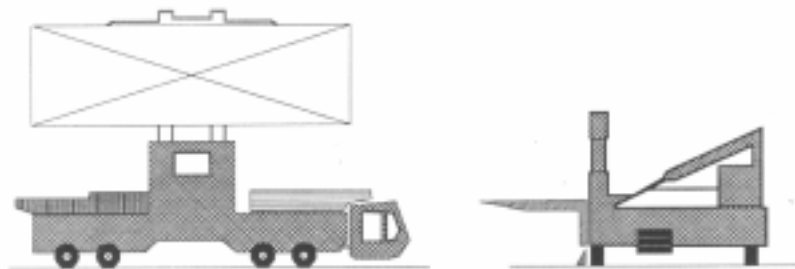
El proyectista debe considerar de acuerdo con criterios preestablecidos de planificación portuaria y los específicos del cliente o de la Autoridad Portuaria, las características de los equipos automóviles de elevación de embarcaciones que operan en la zona, su ubicación y la forma que solicitan al pavimento.

El proyectista deberá disponer de todos los datos relativos a los equipos concretos de elevación de embarcaciones que van a operar en la zona, los cuales deben ser suministrados por los fabricantes de dichos equipos.

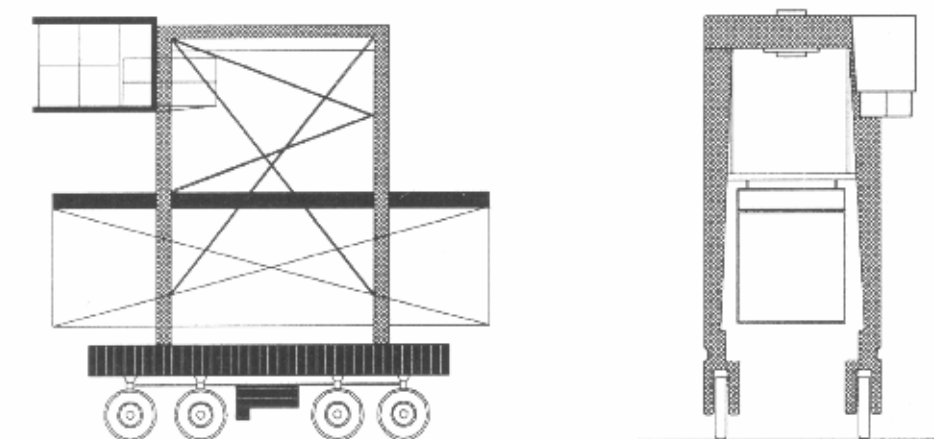
Los esfuerzos horizontales debidos a giros, aceleraciones y frenadas (entre 7 y 75 kN en función de la capacidad de elevación del equipo) no se consideran a los efectos del dimensio-



PÓRTICO DE ALMACENAMIENTO



CARRETILLA PÓORTICO

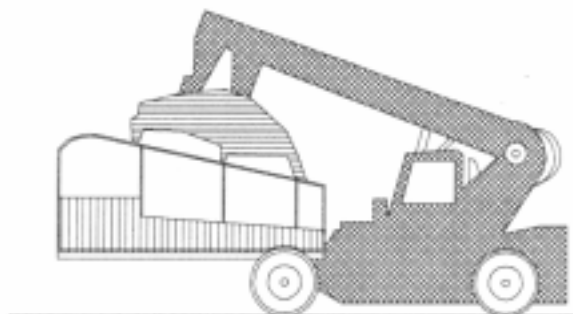


CARGADOR LATERAL

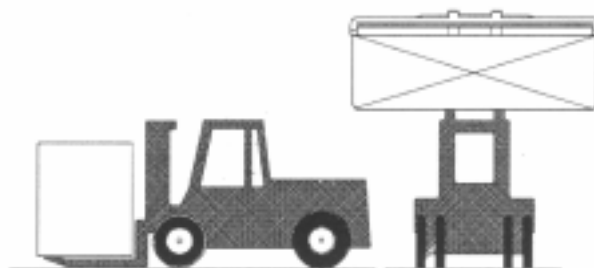
FIGURA 3.1. Equipos de manipulación de mercancías o embarcaciones.



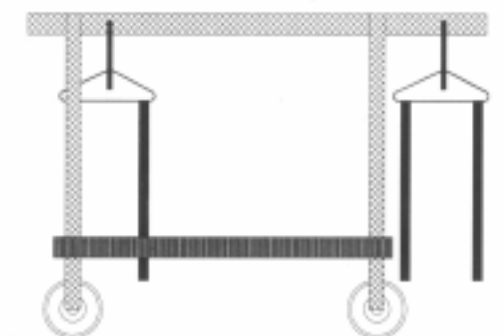
TRACTOR CON SEMIRREMOLQUE



GRÚA AUTOMOVIL



CARGADOR FRONTAL



PÓRTICO ELEVADOR DE EMBARCACIONES

FIGURA 3.1. (Continuación)

namiento estructural de los firmes, pero sí deben tenerse en cuenta al establecer las características superficiales que deben tener los pavimentos.

3.1.4. CARGAS DEL TRÁFICO PESADO CONVENCIONAL

El tráfico pesado convencional es el que puede circular sin restricciones por las redes de carreteras. En los puertos este tráfico se puede dar en todas las zonas, pero es el característico de los viales de acceso; así mismo ha de ser tenido en cuenta en el dimensionamiento de los firmes de las zonas complementarias.

En España bajo la denominación de vehículo pesado se incluyen los camiones de carga útil superior a 3t, 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. Por otro lado, los vehículos pesados que pueden circular sin restricciones por las carreteras tienen en España las cargas límites:

- Carga por eje simple: 130 kN.
- Carga por eje tándem o doble: 210 kN.
- Carga total (carga útil más peso propio) de vehículos rígidos de 2 ejes: 200 kN.
- Carga total de vehículos rígidos de 3 ejes: 260 kN.
- Carga total de vehículos rígidos de 4 o más ejes, de vehículos articulados (semirremolques) y de trenes de carretera: 380 kN.

Según las características de los neumáticos las presiones máximas de contacto varían de 0,6 a 0,9 MPa aproximadamente, aunque por efectos dinámicos pueden llegar a alcanzarse presiones de 1,5 MPa.

3.2. ÍNDICES DE INTENSIDAD DE USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS

Como se ha indicado al comienzo de esta Parte 3, 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 incidencia en esta explotación 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 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). Por otro lado, a clasificar en el apartado 3.4 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, en especial en las zonas de operaciones, al medio de transporte terrestre utilizado en la transferencia de la mercancía. 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 inferior que en una terminal con menor intensidad de uso, pero en la que el transporte se realice mediante equipos sobre neumáticos.

En 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;

- que las superficies de circulación de los equipos estén diferenciadas física y permanentemente de las destinadas al depósito de la mercancía, lo que ocurre por ejemplo cuando se almacenan contenedores en lechos de grava (véase parte 5) o en algunas zonas de depósito de graneles sólidos y líquidos.

En este último caso, análogamente a como se hace en el apartado 3.3 al clasificar las cargas de cálculo, podrían establecerse dos índices de explotación distintos, uno para cada tipo diferenciado de superficie, determinando por tanto dos intensidades de uso distintas.

3.2.1. USO COMERCIAL

3.2.1.1. ZONAS DE OPERACIÓN

Mercancías y materiales manipulados por rodadura por unidad de longitud de atraque en el año medio de la vida útil: $I_{1,1}$ (t/m).

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

A los efectos de la determinación de este índice ha de considerarse que si la entrada y salida de la mercancía se realizan fundamentalmente por ferrocarril, se debe también considerar un coeficiente multiplicador de 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.

3.2.1.2. ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE GRANELES SÓLIDOS

Materiales almacenados por unidad de superficie en la zona en el año medio de la vida útil: $I_{1,2}$ (t/m²).

3.2.1.3. ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍA GENERAL

Mercancías almacenadas por unidad de superficie en la zona en el año medio de la vida útil: $I_{1,3}$ (t/m²).

3.2.1.4. ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

Contenedores manipulados por unidad de superficie en la zona en el año medio de la vida útil: $I_{1,4}$ (TEU/m²).

3.2.1.5. ZONAS DE ESTACIONAMIENTO DE SEMIRREMOLQUES

Contenedores y cajas móviles trasladados en semirremolques por unidad de superficie en la zona en el año medio de la vida útil: $I_{1,5}$ (TEU/m²).

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 tomará, a los únicos efectos de la estimación de esta intensidad de uso, la equivalencia siguiente:

- 1 semirremolque de 40 pies (12 m) \longleftrightarrow 2 TEU
- 1 semirremolque de 20 pies (6 m) \longleftrightarrow 1 TEU

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 se adoptará la siguiente (a los únicos efectos de la estimación del índice de explotación):

$$10 \text{ t} \longleftrightarrow 1 \text{ TEU}$$

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 produjesen en ella otros tipos de almacenamientos, el índice de explotación a considerar se expresará, adoptando las equivalencias indicadas, en toneladas por unidad de superficie en el año medio de la vida útil: $I_{1.5}$ (t/m²)

3.2.1.6. VÍAS DE MANIOBRA

En este caso se considerarán los mismos índices que en las zonas comunicadas por la vía de maniobra de que se trate.

3.2.1.7. VIALES DE ACCESO

De manera análoga, pero no idéntica, a como se considera en la *Instrucción 6.1 y 2 IC de secciones de firme* se tendrá en cuenta la intensidad media diaria de vehículos pesados en el carril de proyecto en el año medio de la vida útil (en la citada Instrucción se hace referencia en cambio al año de la puesta en servicio).

3.2.1.8. ZONAS COMPLEMENTARIAS. CIRCULACIÓN

Con un criterio similar al indicado en el apartado anterior se considerará la intensidad media diaria (vehículos totales) en el vial de que se trate.

3.2.1.9. ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO

Se considerará el número total de plazas de estacionamiento disponibles en la zona.

3.2.2. USO INDUSTRIAL

3.2.2.1. ZONAS DE OPERACIÓN

Mercancías y materiales manipulados por rodadura por unidad de longitud de atraque en el año medio de la vida útil: $I_{2.1}$ (t/m), con los mismos criterios indicados en el apartado 3.2.1.1

3.2.2.2. ZONAS DE ALMACENAMIENTO

Materiales y mercancías almacenados por unidad de superficie en la zona durante el año medio de la vida útil: $I_{2.2}$ (t/m²).

3.2.3. USO MILITAR

3.2.3.1. ZONAS DE OPERACIÓN

Mercancías y materiales manipulados por rodadura por unidad de longitud de atraque en el año medio de la vida útil: $I_{3.1}$ (t/m), con los mismos criterios indicados en el apartado 3.2.1.1

3.2.3.2. ZONAS DE ALMACENAMIENTO

Materiales y mercancías almacenados por unidad de superficie en la zona durante el año medio de la vida útil: $I_{3.2}$ (t/m²).

3.2.4. USO PESQUERO

3.2.4.1. ZONAS DE OPERACIÓN

Cantidad de pesca desembarcada en la zona por unidad de longitud de atraque en el año medio de la vida útil: $I_{4.1}$ (t/m).

3.2.4.2. ZONAS DE CLASIFICACIÓN, PREPARACIÓN Y VENTA

Cantidad de pesca manipulada en estas zonas por unidad de superficie en el año medio de la vida útil: $I_{4.2}$ (t/m²).

3.2.4.3. VÍAS DE MANIOBRA

Véase el apartado 3.2.1.6.

3.2.4.4. VIALES DE ACCESO

Véase el apartado 3.2.1.7.

3.2.4.5. ZONAS COMPLEMENTARIAS. CIRCULACIÓN

Véase el apartado 3.2.1.8.

3.2.4.6. ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO

Véase el apartado 3.2.1.9.

3.2.5. USO DEPORTIVO

3.2.5.1. ZONAS DE OPERACIÓN O VARADA

Operaciones de atraque más desatraque de embarcaciones deportivas con 6 m o más de eslora en el año medio de la vida útil: I_5 (nº)

3.2.5.2. ZONAS COMPLEMENTARIAS. CIRCULACIÓN

Véase el apartado 3.2.1.8.

3.2.5.3. ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO

Véase el apartado 3.2.1.9.

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 la categoría de tráfico (apartado 3.5) no pueden desligarse del uso de la superficie.

Para cada zona portuaria se distinguirá entre cargas de almacenamiento, que hacen referencia a las cargas de estacionamiento y almacenamiento (según se han definido en el apartado 3.1.1), y cargas de manipulación, que hacen referencia a las cargas de los equipos o vehículos de manipulación de mercancías (según se han definido en los apartados 3.1.2. y 3.1.3.). A fin de combinarla con la intensidad de uso y obtener la categoría de tráfico, se tomará finalmente con carácter general como clasificación de la carga de cálculo en cada zona la más elevada de las dos determinadas.

Sin embargo, en las zonas de almacenamiento se pueden distinguir dos situaciones distintas (apartado 3.2). 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 para las distintas situaciones 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

3.3.1.1.1. CARGA DE CÁLCULO DE ALMACENAMIENTO

Salvo en terminales especializados y siempre que no se disponga de criterios específicos de proyecto o de explotación, se considerará ALTA por razones de operatividad de las superficies portuarias o previendo futuros cambios en la explotación, así como por tener en cuenta el impacto de las cargas y la adecuación del firme a la estructura del muelle. En terminales especializados, también a falta de criterios específicos, se considerará la siguiente clasificación:

Graneles líquidos:	BAJA
Graneles sólidos:	MEDIA
Mercancía general:	ALTA
Contenedores:	ALTA
Cargas Ro-Ro:	MEDIA

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:

BAJA:	$Q_v < 120 \text{ kN}$ y $p_v < 0,7 \text{ MPa}$, simultáneamente.
MEDIA:	$120 \text{ kN} \leq Q_v \leq 500 \text{ kN}$ o bien $0,7 \text{ MPa} \leq p_v \leq 1,0 \text{ MPa}$.
ALTA:	$Q_v > 500 \text{ kN}$ y $p_v > 1,0 \text{ MPa}$, simultáneamente.

3.3.1.1.2. CARGA DE CÁLCULO DE MANIPULACIÓN

Depende de los equipos previstos y por tanto de las cargas Q_v y presiones p_v que transmiten al pavimento en cada rueda, en cada par de ruedas gemelas o en general en cada punto de apoyo:

BAJA:	$Q_v < 120 \text{ kN}$ y $p_v < 1,1 \text{ MPa}$, simultáneamente (está incluido también el caso en que la manipulación se realice exclusivamente con equipos circulando sobre vigas, o sobre carriles o con medios continuos).
MEDIA:	$120 \text{ kN} \leq Q_v \leq 700 \text{ kN}$ o bien $1,1 \text{ MPa} \leq p_v \leq 1,5 \text{ MPa}$.
ALTA:	$Q_v > 700 \text{ kN}$ y $p_v > 1,5 \text{ MPa}$, simultáneamente.

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 automóviles muy pesadas.

3.3.1.2. ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE GRANELES SÓLIDOS

3.3.1.2.1. CARGA DE CÁLCULO DE ALMACENAMIENTO

Depende de las presiones de contacto p_v producidas con la altura máxima de almacenamiento (tablas 3.4.2.3.1.1 y 3.4.2.3.1.2 de la ROM 0.2-90):

BAJA:	$0,15 \text{ MPa} > p_v$
MEDIA:	$0,15 \text{ MPa} \leq p_v$

A falta de datos precisos, se considerará una carga BAJA en el caso de graneles sólidos ordinarios y una carga MEDIA en el de los graneles sólidos pesados.

3.3.1.2.2. CARGA DE CÁLCULO DE MANIPULACIÓN

Depende de los equipos que se empleen y por tanto de las cargas Q_v y presiones p_v que trans-

miten al pavimento en cada rueda, en cada par de ruedas gemelas o en general en cada punto de apoyo:

BAJA: $Q_v < 120 \text{ kN}$ y $p_v < 1,1 \text{ MPa}$, simultáneamente.

(está incluido también el caso en que la manipulación se realice exclusivamente por medios continuos)

MEDIA: $120 \text{ kN} \leq Q_v$ o bien $1,1 \text{ MPa} \leq p_v$

3.3.1.3. ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE MERCANCIA GENERAL

3.3.1.3.1. CARGA DE CÁLCULO DE ALMACENAMIENTO

Depende de las presiones de contacto p_v producidas con la altura máxima de almacenamiento (tablas 3.4.2.3.1.1 y 3.4.2.3.1.2 de la ROM 0.2-90):

BAJA: $0,15 \text{ MPa} > p_v$

MEDIA: $0,15 \text{ MPa} \leq p_v < 1,5 \text{ MPa}$

ALTA: $1,5 \text{ MPa} \leq p_v$

A falta de datos precisos, se considerará una carga MEDIA en el caso de la mercancía general convencional y una carga ALTA en el de la mercancía general pesada.

3.3.1.3.2. CARGA DE CÁLCULO DE MANIPULACIÓN

Depende de los equipos que se empleen y por tanto de las cargas Q_v y presiones p_v que transmiten al pavimento en cada rueda, en cada par de ruedas gemelas o en general en cada punto de apoyo:

BAJA: $Q_v < 120 \text{ kN}$ y $p_v < 1,1 \text{ MPa}$, simultáneamente.

(está incluido también el caso en que la manipulación se realice exclusivamente con equipos circulando sobre carriles o sobre vigas)

MEDIA: $120 \text{ kN} \leq Q_v \leq 700 \text{ kN}$ o bien $1,1 \text{ MPa} \leq p_v \leq 1,5 \text{ MPa}$.

ALTA: $Q_v > 700 \text{ kN}$ y $p_v > 1,5 \text{ MPa}$, simultáneamente.

3.3.1.4. ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

3.3.1.4.1 CARGA DE CÁLCULO DE ALMACENAMIENTO

Depende de la forma de apilamiento de los contenedores y por consiguiente de las cargas Q_v y presiones p_v que transmiten al pavimento en cada punto de apoyo:

BAJA: $Q_v < 100 \text{ kN}$ y $p_v < 4 \text{ MPa}$, simultáneamente.

(sólo contenedores apilados de forma aislada en una altura o contenedores de 20 pies incluso en dos alturas)

MEDIA: $100 \text{ kN} \leq Q_v \leq 1200 \text{ kN}$ o bien $4 \text{ MPa} \leq p_v \leq 10 \text{ MPa}$

(todas las situaciones de almacenamiento, salvo las indicadas para cargas BAJA y ALTA)

ALTA: $Q_v > 1200 \text{ kN}$ y $p_v > 10 \text{ MPa}$, simultáneamente.

(sólo contenedores apilados en bloque en cuatro o cinco alturas, y en más de cinco alturas)

A falta de datos de proyecto, se considerará una carga de cálculo ALTA. Estas cargas y presiones llevan, si se quiere garantizar absolutamente que no exista posibilidad de deterioro en el pavimento, a soluciones como los lechos de grava, los adoquines prefabricados de hormigón o el hormigón armado. En el caso de emplear hormigón 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; entonces, el dimensionamiento hay que realizarlo en función de las cargas de cálculo de manipulación.

3.3.1.4.2. CARGA DE CÁLCULO DE MANIPULACIÓN

Depende de los equipos que se empleen y por tanto de las cargas Q_v y presiones p_v que transmiten al pavimento en cada rueda, en cada par de ruedas gemelas o en general en cada punto de apoyo:

- BAJA: $Q_v < 120 \text{ kN}$ y $p_v < 1,1 \text{ MPa}$, simultáneamente.
(está incluido también el caso en que la manipulación se realice exclusivamente con pódicos de almacenamiento circulando sobre vigas o sobre carriles)
- MEDIA: $120 \text{ kN} \leq Q_v \leq 700 \text{ kN}$ o bien $1,1 \text{ MPa} \leq p_v \leq 1,5 \text{ MPa}$.
- ALTA: $Q_v > 700 \text{ kN}$ y $p_v > 1,5 \text{ MPa}$, simultáneamente.

3.3.1.5. ZONAS DE ESTACIONAMIENTO DE SEMIRREMOLQUES

3.3.1.5.1. CARGA DE CÁLCULO DE ALMACENAMIENTO

Dependería en principio del tipo de semirremolque que se utilizase en la operación; como puede variar se considera siempre ALTA (situación que corresponde a $Q_v = 70 \text{ kN}$ y $p_v = 40 \text{ MPa}$ en cada punto de apoyo).

Lo anterior 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 las zonas complementarias de estacionamiento.

3.3.1.5.2. CARGA DE CÁLCULO DE MANIPULACIÓN

En el caso en que existan equipos de manipulación diferentes de los propios semirremolques, las cargas de cálculo de manipulación dependerán de cuáles sean dichos equipos y por tanto de las cargas Q_v y presiones p_v que transmiten al pavimento en cada rueda, en cada par de ruedas gemelas o en general en cada punto de apoyo:

- BAJA: $Q_v < 120 \text{ kN}$ y $p_v < 1,1 \text{ MPa}$, simultáneamente.
- MEDIA: $120 \text{ kN} \leq Q_v \leq 700 \text{ kN}$ o bien $1,1 \text{ MPa} \leq p_v \leq 1,5 \text{ MPa}$.
- ALTA: $Q_v > 700 \text{ kN}$ y $p_v > 1,5 \text{ MPa}$, simultáneamente.

Esta clasificación no tiene efectos prácticos en la determinación de la categoría del tráfico, pues la carga de cálculo de almacenamiento es siempre ALTA.

3.3.1.6. VÍAS DE MANIOBRA

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.

3.3.1.7. VIALES DE ACCESO

La carga de cálculo es la correspondiente al vehículo pesado de carretera con el sentido dado en la *Instrucción 6.1 y 2 IC de secciones de firme* (véase la definición de vehículo pesado en el apartado 1.3): 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.

3.3.1.8. ZONAS COMPLEMENTARIAS. CIRCULACIÓN

El criterio es idéntico al indicado en el apartado 3.3.1.7.

3.3.1.9. ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO

Se considerará el destino de las plazas de estacionamiento disponibles:

- BAJA: Estacionamiento exclusivo de vehículos ligeros.
- MEDIA: Estacionamiento de vehículos pesados y ligeros.
- ALTA: Estacionamiento exclusivo de vehículos pesados.

3.3.2. USO INDUSTRIAL

3.3.2.1. ZONAS DE OPERACIÓN

Se considerarán idénticos criterios de clasificación a los expuestos en el apartado 3.3.1.1 (zonas de operación de uso comercial).

3.3.2.2. ZONAS DE ALMACENAMIENTO

A falta de criterios específicos, la clasificación de las cargas de cálculo se hará de manera análoga al caso de la mercancía general (apartado 3.3.1.3).

3.3.2.2.1. CARGA DE CÁLCULO DE ALMACENAMIENTO

Depende de las presiones de contacto p_v producidas con la altura máxima de almacenamiento (tablas 3.4.2.3.1.1 y 3.4.2.3.1.2 de la ROM 0.2-90):

BAJA: $0,15 \text{ MPa} > p_v$

MEDIA: $0,15 \text{ MPa} \leq p_v < 1,5 \text{ MPa}$

ALTA: $1,5 \text{ MPa} \leq p_v$

A falta de datos, se considerará carga ALTA (mercancía general pesada).

3.3.2.2.2. CARGA DE CÁLCULO DE MANIPULACIÓN

Depende de los equipos que se empleen y por tanto de las cargas Q_v y presiones p_v que transmiten al pavimento en cada rueda, en cada par de ruedas gemelas o en general en cada punto de apoyo:

BAJA: $Q_v < 120 \text{ kN}$ y $p_v < 1,1 \text{ MPa}$, simultáneamente.
(está incluido también el caso en que la manipulación se realice exclusivamente con equipos circulando sobre carriles o vigas)

MEDIA: $120 \text{ kN} \leq Q_v \leq 700 \text{ kN}$ o bien $1,1 \text{ MPa} \leq p_v \leq 1,5 \text{ MPa}$.

ALTA: $Q_v > 700 \text{ kN}$ y $p_v > 1,5 \text{ MPa}$, simultáneamente.

3.3.3. USO MILITAR

3.3.3.1. ZONAS DE OPERACIÓN

Se considerarán los mismos criterios generales de clasificación expuestos en el apartado 3.3.1.1 (zonas de operación de uso comercial).

3.3.3.2. ZONAS DE ALMACENAMIENTO

A falta de criterios específicos, la clasificación de las cargas de cálculo se hará de manera análoga al caso de la mercancía general (apartado 3.3.1.3) y al de estacionamiento de semirremolques (apartado 3.3.1.5).

3.3.3.2.1. CARGA DE CÁLCULO DE ALMACENAMIENTO

Se considera exclusivamente el caso más desfavorable de almacenamiento de semirremolques, tomándola siempre como ALTA (situación que corresponde a $Q_v = 70 \text{ kN}$ y $p_v = 40 \text{ MPa}$ en cada punto de apoyo).

3.3.3.2.2. CARGA DE CÁLCULO DE MANIPULACIÓN

Depende de los vehículos que se consideren y por tanto de las cargas Q_v y presiones p_v que transmiten al pavimento en cada rueda, en cada par de ruedas gemelas o en general en cada punto de apoyo:

BAJA: $Q_v < 120 \text{ kN}$ y $p_v < 1,1 \text{ MPa}$, simultáneamente.

MEDIA: $120 \text{ kN} \leq Q_v \leq 700 \text{ kN}$ o bien $1,1 \text{ MPa} \leq p_v \leq 1,5 \text{ MPa}$.

ALTA: $Q_v > 700 \text{ kN}$ y $p_v > 1,5 \text{ MPa}$, simultáneamente.

3.3.4. USO PESQUERO

3.3.4.1. ZONAS DE OPERACIÓN

3.3.4.1.1. CARGA 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:

BAJA: $Q_v < 120 \text{ kN}$ y $p_v < 0,7 \text{ MPa}$, simultáneamente.

MEDIA: $120 \text{ kN} \leq Q_v \leq 500 \text{ kN}$ o bien $0,7 \text{ MPa} \leq p_v \leq 1,0 \text{ MPa}$.

ALTA: $Q_v > 500 \text{ kN}$ y $p_v > 1,0 \text{ MPa}$, simultáneamente.

A falta de datos, la clasificación se hará según el tipo de buques a los que da servicio el muelle:

BAJA: Buques destinados exclusivamente a pesca de bajura.

MEDIA: Buques destinados tanto a pesca de altura como de bajura.

3.3.4.1.2. CARGA DE CÁLCULO DE MANIPULACIÓN

Se seguirán los mismos criterios dados en las zonas de operación de uso comercial (apartado 3.3.1.1.2).

3.3.4.2. ZONAS DE CLASIFICACIÓN, PREPARACIÓN Y VENTA

Se seguirán los mismos principios generales de clasificación establecidos para la mercancía general en el apartado 3.3.1.3. A falta de datos específicos la carga de cálculo de almacenamiento se considerará como MEDIA.

3.3.4.3. VÍAS DE MANIOBRA

Véase el apartado 3.3.1.6.

3.3.4.4. VIALES DE ACCESO

Véase el apartado 3.3.1.7.

3.3.4.5. ZONAS COMPLEMENTARIAS. CIRCULACIÓN

Véase el apartado 3.3.1.8.

3.3.4.6. ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO

Véase el apartado 3.3.1.9.

3.3.5. USO DEPORTIVO

3.3.5.1. ZONAS DE OPERACIÓN O VARADA

3.3.5.1.1. CARGA 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:

BAJA: $Q_v < 120 \text{ kN}$ y $p_v < 0,7 \text{ MPa}$, simultáneamente.

MEDIA: $120 \text{ kN} \leq Q_v \leq 500 \text{ kN}$ o bien $0,7 \text{ MPa} \leq p_v \leq 1,0 \text{ MPa}$.

ALTA: $Q_v > 500 \text{ kN}$ y $p_v > 1,0 \text{ MPa}$, simultáneamente.

A falta de datos, la clasificación se hará según el tipo de embarcaciones deportivas a las que da servicio el muelle:

BAJA: Exclusivamente embarcaciones con menos de 6 m de eslora.

MEDIA: Embarcaciones de cualquier eslora.

3.3.5.1.2. CARGA DE CÁLCULO DE MANIPULACIÓN O DE ELEVACIÓN DE EMBARCACIONES

Se seguirán los mismos criterios dados en las zonas de operación de uso comercial (apartado 3.3.1.1.2).

3.3.5.2. ZONAS COMPLEMENTARIAS. CIRCULACIÓN

Véase el apartado 3.3.1.8.

3.3.5.3. ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO

Véase el apartado 3.3.1.9.

3.4. INTENSIDAD DE USO SEGÚN EL USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS

En este apartado se analizan y 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.

Las intensidades de uso se clasifican como reducidas, medias o elevadas según los valores de los índices definidos en el apartado 3.2 (referidos en todos los casos al año medio de la vida útil). Se ha pretendido, sin embargo, 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.

3.4.1. USO COMERCIAL

3.4.1.1. ZONAS DE OPERACIÓN

REDUCIDA: $I_{1,1} < 300 \text{ t/m}$
MEDIA: $300 \leq I_{1,1} \leq 3\,000 \text{ t/m}$
ELEVADA: $I_{1,1} > 3\,000 \text{ t/m}$

3.4.1.2. ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE GRANELES SÓLIDOS

REDUCIDA: $I_{1,2} < 6 \text{ t/m}^2$
MEDIA: $6 \leq I_{1,2} \leq 60 \text{ t/m}^2$
ELEVADA: $I_{1,2} > 60 \text{ t/m}^2$

3.4.1.3. ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍA GENERAL

REDUCIDA: $I_{1,3} < 2 \text{ t/m}^2$
MEDIA: $2 \leq I_{1,3} \leq 20 \text{ t/m}^2$
ELEVADA: $I_{1,3} > 20 \text{ t/m}^2$

3.4.1.4. ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

REDUCIDA: $I_{1,4} < 0,2 \text{ TEU/m}^2$
MEDIA: $0,2 \leq I_{1,4} \leq 2 \text{ TEU/m}^2$
ELEVADA: $I_{1,4} > 2 \text{ TEU/m}^2$

3.4.1.5. ZONAS DE ESTACIONAMIENTO DE SEMIRREMOLQUES

Se considerará uno de los dos índices de explotación definidos en el apartado 3.2.1.5, según las estimaciones de las que se pueda disponer.

— Si el índice de explotación se establece en función del número de contenedores y cajas móviles por unidad de superficie en el año medio de la vida útil:

REDUCIDA: $I_{1.5} < 0,2 \text{ TEU/m}^2$
 MEDIA: $0,2 \leq I_{1.5} \leq 2 \text{ TEU/m}^2$
 ELEVADA: $I_{1.5} > 2 \text{ TEU/m}^2$

- Sí el índice de explotación se establece en función del número de toneladas por unidad de superficie en el año medio de la vida útil:

REDUCIDA: $I_{1.5} < 2 \text{ t/m}^2$
 MEDIA: $2 \leq I_{1.5} \leq 20 \text{ t/m}^2$
 ELEVADA: $I_{1.5} > 20 \text{ t/m}^2$

3.4.1.6. VÍAS DE MANIOBRA

Se asignará la clasificación de intensidad de uso más elevada entre las determinadas en las zonas comunicadas por la vía de maniobra.

3.4.1.7. VIALES DE ACCESO

La clasificación de las intensidades medias diarias de vehículos pesados es la establecida en la *Instrucción 6.1 y 2 IC de secciones de firme*, con la salvedad de que donde en ella se hace referencia al año de la puesta en servicio aquí hay que referirse al año medio de la vida útil.

3.4.1.8. ZONAS COMPLEMENTARIAS. CIRCULACIÓN

Se adoptará idéntico criterio al indicado en el apartado 3.4.1.7.

3.4.1.9. ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO

REDUCIDA: Menos de 10 plazas totales de estacionamiento.
 MEDIA: Entre 10 y 100 plazas totales de estacionamiento.
 ELEVADA: Más de 100 plazas totales de estacionamiento.

3.4.2. USO INDUSTRIAL

3.4.2.1. ZONAS DE OPERACION

REDUCIDA: $I_{2.1} < 300 \text{ t/m}$
 MEDIA: $300 \leq I_{2.1} \leq 3\,000 \text{ t/m}$
 ELEVADA: $I_{2.1} > 3\,000 \text{ t/m}$

3.4.2.2. ZONAS DE ALMACENAMIENTO

REDUCIDA: $I_{2.2} < 2 \text{ t/m}^2$
 MEDIA: $2 \leq I_{2.2} \leq 20 \text{ t/m}^2$
 ELEVADA: $I_{2.2} > 20 \text{ t/m}^2$

3.4.3. USO MILITAR

3.4.3.1. ZONAS DE OPERACION

REDUCIDA: $I_{3.1} < 300 \text{ t/m}$
 MEDIA: $300 \leq I_{3.1} \leq 3\,000 \text{ t/m}$
 ELEVADA: $I_{3.1} > 3\,000 \text{ t/m}$

3.4.3.2. ZONAS DE ALMACENAMIENTO

REDUCIDA: $I_{3.2} < 2 \text{ t/m}^2$
 MEDIA: $2 \leq I_{3.2} \leq 20 \text{ t/m}^2$
 ELEVADA: $I_{3.2} > 20 \text{ t/m}^2$

3.4.4. USO PESQUERO

3.4.4.1. ZONAS DE OPERACIÓN

REDUCIDA: $I_{4,1} < 10 \text{ t/m}$
MEDIA: $10 \leq I_{4,1} \leq 100 \text{ t/m}$
ELEVADA: $I_{4,1} > 100 \text{ t/m}$

3.4.4.2. ZONAS DE CLASIFICACIÓN, PREPARACIÓN Y VENTA

REDUCIDA: $I_{4,2} < 0,4 \text{ t/m}^2$
MEDIA: $0,4 \leq I_{4,2} \leq 4 \text{ t/m}^2$
ELEVADA: $I_{4,2} > 4 \text{ t/m}^2$

3.4.4.3. VÍAS DE MANIOBRA

Se seguirá el criterio indicado para uso comercial en el apartado 3.4.1.6.

3.4.4.4. VIALES DE ACCESO

Se seguirá el criterio indicado para uso comercial en el apartado 3.4.1.7.

3.4.4.5. ZONAS COMPLEMENTARIAS. CIRCULACIÓN

Se seguirá el criterio indicado para uso comercial en el apartado 3.4.1.8.

3.4.4.6. ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO

Se seguirá el criterio indicado para uso comercial en el apartado 3.4.1.9.

3.4.5. USO DEPORTIVO

3.4.5.1. ZONAS DE OPERACIÓN O VARADA

REDUCIDA: $I_5 < 100$
MEDIA: $100 \leq I_5 \leq 1\,000$
ELEVADA: $I_5 > 1\,000$

3.4.5.2. ZONAS COMPLEMENTARIAS. CIRCULACIÓN

Se seguirá el criterio indicado para uso comercial en el apartado 3.4.1.8.

3.4.5.3. ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO

Se seguirá el criterio indicado para uso comercial en el apartado 3.4.1.9.

3.5. CATEGORÍAS DE TRÁFICO

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

Tráfico muy pesado:	A
Tráfico pesado:	B
Tráfico medio :	C
Tráfico ligero:	D

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 3.3 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 3.3. CATEGORÍAS DE TRÁFICO (*)			
INTENSIDAD DE USO	CARGA DE CÁLCULO		
	BAJA	MEDIA	ALTA
REDUCIDA	D	C	B
MEDIA	D	B	A
ELEVADA	C	B	A
<p>NOTA:</p> <p>* Excepto para viales de acceso y zonas complementarias de circulación.</p>			

4.1. INTRODUCCIÓN	67
4.2. RELLENOS	67
4.2.1. CLASIFICACIÓN	67
4.2.2. TRATAMIENTOS DE CONSOLIDACIÓN	69
4.3. EXPLANADAS	72
4.3.1. DEFINICIÓN	72
4.3.2. MATERIALES	72
4.3.3. TÉCNICAS DE MEJORA O ESTABILIZACIÓN	73
4.3.4. CATEGORÍAS DE EXPLANADA	73

Se exponen los criterios fundamentales para caracterizar el cimiento 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.

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 incluso 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 (terraplenes o pedraplenes), únicamente viables en cotas por encima del nivel del mar.

Análogamente a como en terraplenes o pedraplenes se distinguen el cimiento, el núcleo y la coronación, en pavimentación portuaria se distingue también entre el fondo, el relleno y la coronación. Como en carreteras, en este documento el término *explanada* 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 aún hoy en día las técnicas de consolidación menos habituales de lo que sería conveniente. Finalmente, la coronación es a menudo inexistente, aunque en este documento se propugna la utilización de materiales de una cierta calidad, en espesor suficiente y debidamente compactados, como algo ineludible para 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) incluidas también en el programa ROM.

4.2.1. CLASIFICACIÓN

Los rellenos se pueden clasificar en dos grandes grupos: hidráulicos y de vertido directo (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. Dicho efluente se caracteriza principalmente por su caudal y por el contenido de sólidos en suspensión.

TABLA 4.1. CLASIFICACIÓN DE LOS RELLENOS PORTUARIOS	
TIPOS DE RELLENOS	CLASIFICACIÓN
HIDRÁULICOS	Contenido de finos menor del 10 %
	Contenido de finos entre el 10 y el 35 %
	Contenido de finos mayor del 35 %
DE VERTIDO DIRECTO	Con materiales terrestres Rellenos granulares Rellenos cohesivos Pedraplenes limpios Pedraplenes sucios
	Antrópicos y no convencionales

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).

Los rellenos hidráulicos son los que posiblemente presentan más a menudo la mejor relación calidad/precio. Como ocurre con todos los rellenos portuarios, sus excesivos asentamientos y sus deficiencias de capacidad de soporte son más debidas a los fondos (cuando están formados por fangos en espesores importantes) que inherentes al propio relleno.

Según el contenido de finos (materiales de tamaño inferior a 80µm), determinado sobre el conjunto del material en su punto de destino, los rellenos hidráulicos se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Contenido de finos inferior al 10 %: Dan buenos rellenos si se mantiene la superficie con pocas irregularidades para evitar acumulaciones de limos y arcillas.
- Contenido de finos entre el 10 % y el 35 %: Rellenos muy compresibles, pero cuya consolidación se puede acelerar intercalando capas de arena.
- Contenido de finos superior al 35 %: Rellenos blandos y muy compresibles, de difícil y lenta consolidación.

4.2.1.2. RELLENOS DE VERTIDO DIRECTO

Esta denominación alude a la forma de ejecutar el relleno. El vertido se realiza mediante gánguiles o desde tierra. Un caso particular lo constituyen los rellenos realizados mediante vertido por fondo mediante gánguiles de charnela; con estos sistemas, en los que el relleno puede llegar a tener un contenido de finos muy importante, no se alcanza la cota de coronación, pero sí se puede llegar a 3 o 4 m por debajo de la pleamar.

Según los materiales empleados se pueden distinguir los siguientes tipos:

- Rellenos con materiales terrestres: Dentro de este tipo se incluyen productos obtenidos de préstamos terrestres como la excavación de desmontes, obras subterráneas o cimentaciones; así como de obras de dragados y de la explotación de canteras u otros yacimientos. Cabe establecer la siguiente clasificación:

- Rellenos granulares: Realizados con gravas o arenas, o una mezcla de ambas, extraídas de préstamos terrestres y con contenido de finos no superior al 35%.
 - Rellenos cohesivos: Los rellenos cohesivos en sentido estricto (arcillas, limos arcillosos) nunca son deseables, pero en ocasiones puede resultar inevitable recurrir a ellos por imposibilidad de contar con otros materiales. Sin embargo, aquí se hace sobre todo referencia a materiales de plasticidad limitada, como los que se emplean en los núcleos de los terraplenes de carreteras.
 - Pedraplenes limpios o escolleras de granulometría abierta: Realizados con materiales rocosos con escaso contenido en finos. No son usuales para rellenos, pero sí en diques, banquetas de cimentación de muelles de gravedad y en cierres de diverso tipo, por lo que pueden constituir parte de un relleno.
 - Pedraplenes sucios o escolleras de granulometría cerrada: Realizados con materiales rocosos de calidad y alto contenido de finos (por ejemplo, el material sin clasificar denominado *todo uno* de cantera) o con materiales rocosos de baja calidad que no serían aceptables para escolleras exteriores. Son de uso frecuente en los rellenos del trasdós de muelles de cajones o de pilotes. Se protegen o no con capas de filtro dependiendo de su calidad.
- Rellenos antrópicos y no convencionales. Los rellenos antrópicos son los realizados con productos de desecho: escombros y residuos sólidos urbanos 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.

Bajo el epígrafe de rellenos no convencionales destacan los formados con 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. Aunque en estos casos deberán considerarse soluciones que eviten la contaminación del medio físico;
- 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 acentúa con estos materiales o residuos, pues su deformabilidad suele 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. TRATAMIENTOS DE CONSOLIDACIÓN

En la mayoría de los casos, la calidad de los rellenos recién contruidos 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 asientos esperables se deben tanto a la naturaleza de los fondos como a la del propio relleno. En cualquier caso, estos asientos 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 compacidad 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 por tanto 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.

4.2.2.1. 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 asientos se produzcan de manera más uniforme; es el caso de la técnica de hincas 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.

4.2.2.1.1. PRECARGA

Si se considera que las deformaciones del relleno al ser solicitado por las cargas de servicio van a ser excesivas, cabe producirlas previamente con elementos que no sean dañados por dichas deformaciones, normalmente con tierras, planchas de acero, etc. Así, la deformabilidad del relleno para el régimen futuro de cargas quedará muy disminuida. El tiempo de sobrecarga se puede acortar con la utilización de drenes verticales.

La precarga es con mucho el tratamiento de consolidación más habitual, debido a su baja relación coste/eficacia y a su influencia en la consolidación de los fondos sobre los que se apoya el relleno.

4.2.2.1.2. COMPACTACIÓN Y SUSTITUCIÓN DINÁMICAS

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 materia de aportación. La compactación dinámica consiste en dejar caer una maza 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 los procesos de sustitución, hay además una retirada de material y su sustitución en determinados puntos por otro de superior calidad.

4.2.2.1.3. VIBROFLOTACIÓN

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 pro-

fundidad deseada, se realiza la vibroflotación propiamente dicha 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. Se suele trabajar en mallas de un punto cada 4 a 12 m² y las variables a considerar son la velocidad de descenso y el tiempo y la frecuencia de vibración. Las ventajas fundamentales de este método son:

- Es viable en la práctica habitual hasta aproximadamente 15 m. 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.

Se pueden distinguir los siguientes tipos de vibroflotación:

- Vibrocompactación: Es recomendable en el caso de rellenos granulares limpios y sueltos. Suele admitirse que el máximo contenido de finos compatible con el proceso es el 18 %. Para contenidos superiores es preciso añadir relleno de piedra con tamaño uniforme de algunos centímetros. El espaciamiento entre puntos de vibrocompactación suele variar entre 1,8 y 3 m, alcanzándose densidades relativas del orden del 70-80 %.
- Vibrosustitución: Se utiliza para formar columnas de piedra en rellenos cohesivos blandos que son removidos por un chorro de agua y sustituidos por el material de aportación.
- Vibrodesplazamiento: Se utiliza para formar columnas de piedra en rellenos cohesivos menos blandos 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 la columnas de piedra en la parte superior.
- Compactación dinámica con pilotes de balasto: Este sistema tiene la doble función de comprimir el relleno y permitir el drenaje del agua existente dentro de él.
- 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.

4.2.2.1.4. CONSOLIDACIÓN CON EXPLOSIVOS

Se realiza haciendo explosionar 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.

4.2.2.1.5. JET-GROUTING

Es una técnica de inyección destinada al tratamiento de los materiales de relleno en profundidad para formar columnas de material mejorado o para realizar una sustitución por otros productos. Dicho tratamiento se realiza de abajo a arriba, inyectándose lechada de cemento. El procedimiento es rápido y versátil, estando especialmente indicado en el caso de materiales granulares.

4.2.2.2. FILTROS Y CAPAS ANTICONTAMINANTES

Los filtros se utilizan para evitar la remoción de finos que causa el agua al circular a través del relleno: los gradientes debidos a la carrera de marea, a oleaje, 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.

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. Esto puede comprobarse dividiendo arbitrariamente la granu-

lometría del relleno en dos partes: superior e inferior a un tamaño dado (que puede ser 1 mm). 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.

La colocación de filtros en el interior de los rellenos resulta 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.

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

La ejecución de rellenos con materiales procedentes de dragado produce, especialmente en la fase de consolidación, una acumulación de finos en superficie que resulta muy difícil 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 de las características del relleno, principalmente del grado de consolidación conseguido en el mismo y de su homogeneidad.

4.3.2. MATERIALES

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) o bien un *todo uno* procedente de frente de cantera. 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

Carecen de elementos de tamaño superior a diez centímetros (10 cm) y su cernido por el tamiz 0,080 UNE es inferior al treinta y cinco por ciento (35 %) en peso. Su límite líquido es inferior a cuarenta ($LL < 40$). La densidad máxima correspondiente al ensayo Proctor normal no ha de ser inferior a una tonelada y setecientos cincuenta kilogramos por metro cúbico ($1,750 \text{ t/m}^3$). El índice CBR debe ser superior a cinco (5) y el hinchamiento, medido en dicho ensayo, debe ser inferior al dos por ciento (2 %). El contenido de materia orgánica es inferior al uno por ciento (1 %).

4.3.2.2. SUELOS SELECCIONADOS

Carecen de elementos superiores a ocho centímetros (8 cm) y su cernido por el tamiz 0,080 UNE es inferior al veinticinco por ciento (25 %) en peso. Simultáneamente, su límite líquido

es menor que treinta ($LL < 30$) y su índice de plasticidad menor que diez ($IP < 10$). El índice CBR ha de ser superior a diez (10) y no deben presentar hinchamiento en dicho ensayo. Han de estar exentos de materia orgánica.

4.3.2.3. TODO UNO DE CANTERA

Consiste en una mezcla sin clasificar de materiales gruesos y finos, obtenidos de frentes de cantera y de la cual se eliminan habitualmente los materiales cuyo tamaño exceda del 50 % del espesor de la tongada (en cualquier caso los superiores a 20 cm). Presentan importantes ventajas derivadas de su esqueleto pétreo: constituyen una excelente plataforma de trabajo, transmiten bien las cargas al relleno y tienen características anticontaminantes.

4.3.2.4. SUELOS SELECCIONADOS CON CBR > 20

Se trata de suelos que cumplen las especificaciones de los suelos seleccionados y que tienen un CBR superior a veinte (20).

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 insusceptibilidad 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 a 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.

4.3.4. CATEGORÍAS DE EXPLANADA

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

Se distinguen seis categorías de rellenos:

- Rellenos malos no consolidados (MNC). Rellenos hidráulicos con alto contenido de finos (> 35 %) o rellenos antrópicos de vertido directo, no sometidos a ningún tratamiento de consolidación.
- Rellenos malos consolidados (MC). Ídem, pero sometidos a alguno de los tratamientos de consolidación.
- Rellenos regulares no consolidados (RNC). Rellenos hidráulicos con contenido de finos entre el 10 y el 35 % o rellenos no convencionales de vertido directo, no sometidos a ningún tratamiento de consolidación.
- Rellenos regulares consolidados (RC). Ídem, pero sometidos a alguno de los tratamientos de consolidación.
- Rellenos buenos no consolidados (BNC). Rellenos hidráulicos con bajo contenido de finos (< 10 %) o rellenos de vertido directo con materiales terrestres, no sometidos a ningún tratamiento de consolidación.

- Rellenos buenos consolidados (BC). ídem, pero sometidos a alguno de los tratamientos de consolidación.

Se considera que un relleno no está consolidado cuando, construida la coronación, los asientos esperables (estimación hecha mediante alguno de los procedimientos indicados en ROM 0.5) durante los diez años siguientes alcanzan un total de 0,10 m o más. Cuando el relleno no esté consolidado sólo serán admisibles firmes provisionales. Por tanto, antes de construir un firme definitivo hay que comprobar que los asientos acumulados esperables desde el momento anterior a su construcción hasta pasados 10 años sean inferiores a los indicados 0,10 m.

Otro factor a tener en cuenta es la homogeneidad del relleno. Puede decirse que un relleno es homogéneo cuando el asiento esperable no excede de 0,05 m. en una distancia de 10 m. Sin embargo, en una primera aproximación este parámetro no se ha contemplado explícitamente en la clasificación de explanadas que se recoge en la tabla 4.2., en la cual se ha considerado con criterio conservador la situación más habitual de rellenos no homogéneos.

En cuanto a la coronación se pueden distinguir las siguientes situaciones:

- Ausencia de coronación. Situación nada recomendable (incluso inviable en la mayor parte de los casos) y que sólo podría llegar a admitirse para firmes provisionales, y en la que es conveniente recurrir en cualquier caso al empleo de capas de filtro o de geotextiles entre la explanada y la capa inferior del firme.
- 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).
- Coronación con suelos seleccionados (o con suelos adecuados o incluso de peores características estabilizados con cemento de manera que la mezcla cumpla las exigencias de los suelos seleccionados).
- Coronación con suelos seleccionados con CBR > 20 (o con suelos adecuados o incluso de peores características estabilizados con cemento de manera que la mezcla cumpla las exigencias de los suelos seleccionados con CBR superior a 20).
- Coronación con todo uno de cantera.

La combinación de los diferentes tipos de rellenos y las distintas situaciones de coronación permite clasificar las explanadas portuarias en cuatro categorías:

- Explanada deficiente E0
- Explanada aceptable E1
- Explanada buena E2
- Explanada muy buena E3

TABLA 4.2. CATEGORÍAS DE EXPLANADAS

CORONACIÓN	(*) MNC	(*) RNC	(*) BNC	MC	RC	BC
Suelos adecuados	E0	E0	E0	E1	E1	E1
Suelos seleccionados	E1	E1	E1	E1	E2	E2
Todo uno de cantera	E1	E1	E1	E2	E2	E3
Suelos seleccionados con CBR > 20	E1	E1	E2	E2	E3	E3

NOTA:

(*) En estos casos se construirán firmes provisionales.

La clasificación de las explanadas para el proyecto de los firmes portuarios se realiza, en principio, de acuerdo con el contenido de la tabla 4.2, cuyo carácter es únicamente orientativo. La clasificación definitiva de la explanada debe hacerse en función de los resultados de ensayos de carga con placa.

La tabla 4.3 recoge los valores mínimos exigidos del módulo de compresibilidad E_2 obtenido en el segundo ciclo de carga de dicho ensayo, así como los valores máximos de la relación E_2/E_1 siendo E_1 el módulo de compresibilidad obtenido en el primer ciclo de carga (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).

Si no se alcanzase el módulo de compresibilidad mínimo indicado para la categoría de explanada preestablecida, se procedería a realizar las operaciones pertinentes para alcanzar ese objetivo o se asignaría como categoría de la explanada la correspondiente al módulo realmente obtenido.

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

TABLA 4.3. CATEGORÍAS DE EXPLANADAS SEGÚN EL ENSAYO DE CARGA CON PLACA		
CATEGORÍA	E_2 MÍNIMO (MPa)	E_2/E_1 MÁXIMO
E1	25	2,0
E2	35	2,0
E3	55	2,0

5.1. UNIDADES DE OBRA PARA CAPAS INFERIORES	81
5.1.1. SUBBASES GRANULARES	81
5.1.2. BASES GRANULARES	81
5.1.3. SUELOCEMENTO	81
5.1.4. GRAVACEMENTO	82
5.1.4. GRAVAESCORIA	82
5.1.6. GRAVAEMULSIÓN	82
5.1.7. HORMIGÓN MAGRO	82
5.2. UNIDADES DE OBRA PARA PAVIMENTOS	82
5.2.1. HORMIGÓN VIBRADO	82
5.2.2. HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO	83
5.2.3. HORMIGÓN ARMADO	84
5.2.4. HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS	84
5.2.5. PLACAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN	85
5.2.6. ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN	85
5.2.7. ADOQUINES DE PIEDRA LABRADA	86
5.2.8. PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	86
5.2.9. PAVIMENTOS PERCOLADOS	86
5.2.10. LECHOS DE GRAVAS	87
5.3. COMENTARIO FINAL	87

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.

5.1. UNIDADES DE OBRA PARA CAPAS INFERIORES

Se realizan a continuación unos breves comentarios sobre las características que presentan las distintas unidades de obra que pudieran ser empleadas como capas inferiores de los firmes, tanto subbases (las que se apoyan directamente sobre la explanada cuando ésta no tiene la calidad suficiente) como bases (las que se colocan bajo el pavimento). Se ha tratado de recoger todas las opciones posibles, aunque sólo una parte de las mismas se contemplan directamente en el catálogo de secciones estructurales.

5.1.1. SUBBASES GRANULARES

Es la capa de material situada entre la base del firme y la explanada. No existe siempre. En los firmes portuarios la subbase suele ser una capa granular de granulometría continua cuyos materiales extraídos de graveras se utilizan tal cual (*todo uno*) o con una pequeña reconstitución granulométrica, con eliminación de las partículas más gruesas o de parte de las más finas (zahorras naturales).

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 cristalizadas de alto horno y las escorias de acería, en este último caso tras un proceso de almacenamiento al aire libre para apagar la cal libre.

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 atendiendo a los materiales empleados: las granulares y las tratadas con ligante bituminosos o conglomerantes hidráulicos o puzolánicos.

Las capas granulares están formadas por áridos, total o parcialmente machacados, cuya granulometría es de tipo continuo (zahorra artificial) o uniforme (macadam). En la actualidad lo más habitual es recurrir a las zahorras artificiales, lo cual no debe suponer descartar la técnica tradicional del macadam.

Al igual que en el caso de las subbases debe considerarse el empleo de escorias y de otros materiales de desecho, en este caso previa trituración para conseguir la necesaria angulosidad de las partículas.

5.1.3. SUELOCEMENTO

Está constituida por la mezcla, realizada en central, de suelos seleccionados, cemento, agua y eventualmente adiciones.

Al contrario de las unidades de obra para capas inferiores que se comentan a continuación y que se utilizan casi exclusivamente en bases, el suelocemento se emplea tanto en capas de base como de subbase.

5.1.4 GRAVACEMENTO

Está constituida por la mezcla, realizada en central, de áridos de calidad, cemento, agua y eventualmente adiciones. El árido es parcial o totalmente de machaqueo y tiene una granulometría continua. El tamaño máximo del árido no debe ser superior a 25 mm para evitar segregaciones y el porcentaje de los finos no plásticos, que pasan por el tamiz 0,080 UNE, es reducido. El esqueleto mineral de una gravacemento es, en definitiva, una zahorra artificial. El contenido de cemento suele oscilar entre el 3,5 y el 5 % sobre el peso de los áridos; por su parte, el contenido de agua suele variar entre el 4,5 y el 6,5 %, lo que permite la compactación con rodillos.

5.1.5. GRAVAESCORIA

Su concepción es similar a la de la gravacemento. El conglomerante es escoria granulada de horno alto, con dosificaciones, según su reactividad, entre el 10 y el 20 % sobre peso 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 peso de los áridos). Un tipo de gravaescoria es la que está formada por un árido que es una escoria cristalizada de horno alto (*escoria-escoria*).

Aunque presenta diversas ventajas sobre la gravacemento (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) sólo constituye una alternativa a la misma en radios de unos 100 km en torno a los puntos de producción de las escorias.

5.1.6. GRAVAEMULSIÓN

En este caso lo que se utiliza es una emulsión bituminosa de rotura lenta, en proporciones que no suelen superar el 3 % de betún residual. Según el tipo de árido se emplean emulsiones catiónicas o aniónicas. Aunque su capacidad de absorción de tensiones es inferior a la de la gravacemento presenta frente a ella ventajas tales como la no fisuración por retracción y su posibilidad de ser empleada en espesores muy variables.

5.1.7. HORMIGÓN MAGRO

Existen dos técnicas en cuanto a la concepción de este material, diferenciadas básicamente por el procedimiento de puesta en obra, lo que lleva a que los contenidos de humedad empleados sean diferentes en uno y otro caso. La primera de dichas técnicas lo considera como una gravacemento con más cemento y su compactación se realiza igualmente con rodillos. La segunda lo considera como un hormigón con menos cemento (unos 150 kg/m³, frente a los 300 kg/m³ o más del hormigón tradicional) y su puesta en obra se realiza mediante vibrado.

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 puede considerarse que tienen gran importancia en la pavimentación portuaria, por ejemplo el hormigón vibrado, otras sólo son de eventual aplicación en alguna situación especial, como es el caso de los pavimentos percolados. Sin embargo, se ha tratado de recoger todas las opciones posibles, aunque sólo una parte de las mismas se contemplan directamente en el catálogo de secciones estructurales.

5.2.1 HORMIGÓN VIBRADO

Son pavimentos formados por losas de espesores variables, que pueden ir desde los 0,15 a los 0,40 m aproximadamente. En planta tienen del orden de 5 x 5 m², aunque a veces se construyen de dimensiones algo mayores en la medida en que los espesores también lo sean, pero nunca más de veinticinco veces el espesor. En estas Recomendaciones se considera que el espesor no debe bajar en ningún caso de los 0,20 m, pues espesores inferiores resultan muy críticos frente a cargas elevadas.

El hormigón, constituido por áridos adecuados, un mínimo de 300 kg/m^3 de cemento, una relación agua/cemento relativamente baja (inferior a 0,5) y los aditivos necesarios, se fabrica, extiende, compacta por vibración y cura para conseguir un material homogéneo, resistente a la fatiga por flexión y al desgaste por el tráfico.

Los hormigones para pavimentos se caracterizan por su resistencia a flexotracción y no por su resistencia a compresión simple, aunque entre una y otra pueden establecerse correlaciones aproximadas. Salvo en viales de acceso, en los que se deben seguir las recomendaciones recogidas en la Instrucción 6.1 y 2 IC de secciones de firme, debe tenderse a la utilización de hormigones del tipo HP 40, es decir con 4 MPa de resistencia característica a flexotracción en probeta prismática a los 28 días. En caso de emplear hormigones del tipo HP 35, es decir con 3,5 MPa de resistencia característica a flexotracción, debe compensarse esa disminución de resistencia con un aumento de espesor de 0,03 m.

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).

A título puramente informativo y sin que esto suponga presunción alguna sobre las equivalencias reales, para los casos en que no se pudieran hacer determinaciones de resistencia a flexotracción, el hormigón HP 40 puede ser sustituido por un H 300 (30 MPa de resistencia a compresión simple a los 28 días) y el HP 35 por un H 250 (25 MPa de resistencia a compresión simple a los 28 días).

Mientras que en carreteras y en viales en los que hay tráfico pesado, intenso y 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 e incluso realizarse sobre la propia explanada si esta es de buena calidad (E3). 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 se puede realizar con procedimientos relativamente manuales, extendiendo el hormigón entre tablonos u otro tipo de encofrados y compactando mediante vibradores de aguja y el paso posterior de reglas vibrantes. Se consigue sin embargo una calidad superior recurriendo al empleo de métodos mecanizados, tales como pavimentadoras de encofrados deslizantes. En caso de hormigonarse por bandas las juntas transversales de contracción (y las longitudinales de alabeo si las bandas de hormigonado superan los 5 m de anchura) se realizan por serrado una vez que han transcurrido algunas horas (de 6 a 18 normalmente) para que el hormigón este suficientemente endurecido.

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 buena resistencia al deslizamiento.
- No suelen presentar deformaciones permanentes, por lo que son adecuados para tráfico pesado.
- La superficie no se debilita ni por los derrames de aceites, gasoil u otros productos similares ni por elevadas temperaturas.

5.2.2. HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO

Son pavimentos de hormigón en masa con bajos contenidos de agua (la relación agua/cemento es de 0,35 - 0,40) que han de compactarse enérgicamente con rodillos vibratorios y de neumáticos, de forma similar a como se hace con una gravacemento. El contenido de cemento es, sin embargo, análogo al de un hormigón vibrado para pavimentos (no inferior a 300 kg/m^3), empleándose en general cementos mixtos del tipo V con elevados contenidos de cenizas volantes.

La característica quizás más importante de este tipo de pavimentos 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 total o parcialmente de machaqueo). En cambio la superficie de este pavimento puede presentar una mayor irregularidad que la del hormigón vibrado.

Si se teme que por efecto del tráfico puedan producirse disgregaciones superficiales, se puede proteger el hormigón compactado con algún tipo de tratamiento superficial, que en el caso de los pavimentos portuarios con circulación a velocidades relativamente bajas puede reducirse a un fratasado. Estructuralmente, en cambio, requieren un apoyo de suficiente capacidad de soporte, para que se pueda desarrollar de manera efectiva la compactación del hormigón.

5.2.3. HORMIGÓN ARMADO

Normalmente en los pavimentos las armaduras tienen por objeto mantener cosidas las fisuras de retracción. Un caso es el del hormigón armado a flexión (soleras), como el que puede emplearse para el depósito de contenedores cuando se quiere garantizar una ausencia absoluta de deterioros.

5.2.3.1. PAVIMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO CON JUNTAS

En estos pavimentos la misión fundamental de las armaduras es la de mantener cosidas las fisuras transversales que inevitablemente aparecen en losas largas (de 8 a 30 m). De este modo se asegura la transmisión de cargas en las fisuras, se dificulta la intrusión de agua y finos y se impide la abertura en V de las grietas bajo la acción del tráfico. Se puede considerar que se trata de una técnica anticuada con más inconvenientes que ventajas, las cuales no compensan en absoluto los mayores costes. Salvo casos muy especiales se trata de una opción de pavimentación que no cabe tomar en consideración.

5.2.3.2. PAVIMENTOS CONTINUOS DE HORMIGÓN ARMADO

En estos pavimentos llegan a suprimirse las juntas transversales de contracción, gracias a aumentar la cuantía geométrica de la armadura longitudinal de acero de alto límite elástico a valores de hasta el 0,7 %. 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. En pavimentación portuaria pueden tener interés para los tráficos 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.

5.2.3.3. SOLERAS DE HORMIGÓN ARMADO

En este caso, las armaduras se disponen para resistir los esfuerzos de flexión que se originan por efecto de las cargas. El dimensionamiento se hará siguiendo los criterios de la EH-91.

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 pavimentos de hormigón tradicionales. El tipo de fibra más eficaz para este tipo de pavimentos es la que se fabrica a partir de acero trellado, con los extremos conformados para asegurar un mejor anclaje al hormigón. Las fibras deben presentarse encoladas en peines, a fin de evitar el apelmazamiento que se podría producir en el amasado. La trabajabilidad del hormigón con fibras decrece con la relación longitud/diámetro de las mismas; 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.

Las ventajas más importantes de este tipo de pavimentos 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 espesores de las losas.
- Mayor resistencia al impacto, por lo que están especialmente recomendados para zonas de manipulación habitual de chatarra.
- Mayor resistencia frente a fenómenos de desagregación de la superficie.
- Se absorben y distribuyen mejor 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. PLACAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN

Tienen elevadas resistencias (del orden de 40 MPa a compresión simple) y son cuadradas o rectangulares. A menudo van armadas, llevando incluso cantoneras perimetrales, con unas dimensiones en planta de 1,5-3 m de lado y 0,16-0,18 m de espesor; en general, los resultados con ellas han sido francamente malos, debido sobre todo a que las cantoneras acaban por levantarse, produciendo daños a los vehículos. También se han empleado con mejores resultados placas de hormigón en masa de 2 m² (1,41 m de lado) y 0,25 m de espesor.

Entre sus principales características se pueden destacar las siguientes (además de las correspondientes a todas las superficies de hormigón):

- Se adaptan relativamente bien a los asientos que se puedan producir.
- El acceso a los servicios subyacentes no es demasiado complicado.
- Relativa facilidad de reparación y rehabilitación.
- Existe teóricamente la posibilidad de reutilizar los elementos, aunque en la práctica no suele resultar demasiado fácil.

Como también ocurre con los adoquinados, las superficies pavimentadas con placas prefabricadas pueden presentar, si sus bordes están biselados, una megatextura apreciable y, por tanto, a una cierta velocidad la circulación resulta incómoda. Por otro lado, en algunos casos el fenómeno se puede agravar por deformación de los bordes y mucho más si se levantan las eventuales cantoneras.

En cualquier caso, el éxito de las placas prefabricadas estriba en unos espesores suficientes, nunca menores de los indicados, y en una resistencia suficientemente elevada del hormigón (no menor de H-300).

5.2.6. 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 los adoquines es esencial para garantizar un buen funcionamiento de los mismos y se realiza por 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: suelocemento, 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.
- Capacidad para resistir cargas estáticas, dinámicas, impactos y cargas puntuales muy elevadas sin sufrir deformaciones importantes ni agotamiento.
- Posibilidad de adaptarse a los eventuales asientos de los rellenos portuarios.

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 (H-175, por ejemplo) y un espesor mínimo constructivo, del

orden de 15 cm, pero esto conlleva un encarecimiento y la desaparición de la gran ventaja que supone la adaptación a los 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.

Independientemente de lo anterior, el elevado coste de los adoquinados se suele citar a menudo como su mayor inconveniente. Debe tenerse en cuenta que esta situación tiende a cambiar, como lo ha hecho ya en otros países europeos, en la medida en que aumenta el número de fabricantes de adoquines que cumplen unas estrictas exigencias de calidad. Por otra parte, se han desarrollado métodos de colocación que aumentan los rendimientos y disminuyen las necesidades de mano de obra.

5.2.7. ADOQUINES DE PIEDRA LABRADA

Son el antecedente de los adoquines prefabricados de hormigón. Hoy día constituyen una solución de pavimentación muy costosa y con escasas ventajas técnicas. Sólo cabría tomarla en consideración, con un interés estético, en paseos peatonales y en algunas zonas complementarias. Se requiere en cualquier caso una piedra de calidad y con una labra muy cuidadosa, pues en caso contrario resulta una megatextura excesiva que hace que estas superficies resulten muy incómodas incluso para los peatones.

5.2.8. PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Entre ellos hay que distinguir, a los efectos de las situaciones contempladas en estas Recomendaciones, los siguientes tipos fundamentales:

- Tratamientos superficiales, bien mediante riegos con gravilla (normalmente con emulsiones bituminosas) o bien mediante lechadas bituminosas (por definición, siempre con emulsiones bituminosas). Mientras los primeros son muy utilizados sobre capas granulares en firmes provisionales, las lechadas se pueden emplear también en firmes definitivos para obtener determinadas características superficiales.
- Mezclas abiertas en frío (fabricadas con emulsión bituminosa), en espesores relativamente reducidos: de 4 a 8 cm. Se emplean tanto en firmes provisionales, como en firmes definitivos sometidos a tráfico ligero.
- Mezclas cerradas en caliente (fabricadas con betunes asfálticos), del tipo hormigón bituminoso. 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 35 o 40 cm.

En el caso de emplear los pavimentos asfálticos para firmes definitivos y en algunas zonas portuarias, los pavimentos de mezcla bituminosa presentan limitaciones de empleo debido a algunas de sus características, tales como:

- Por la baja velocidad de circulación y las elevadas cargas pueden presentar problemas de deformaciones plásticas.
- Poca aptitud para resistir fuertes presiones de contacto (lo que hace que sean poco aconsejables especialmente en zonas de almacenamiento de contenedores y de semirremolques).
- El derrame de aceites, gasoil y otros productos similares disuelven lentamente el ligante bituminoso dejando una superficie propensa al arrastre.

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 mezclas de pequeño espesor, su facilidad de rehabilitación superficial y refuerzo, etc. En cualquier caso, deben considerarse una opción básica en viales de acceso, donde no suelen producirse las situaciones indicadas en el párrafo anterior.

5.2.9. PAVIMENTOS PERCOLADOS

Son pavimentos constituidos por una capa de 40 mm de espesor aproximado de mezcla bituminosa sin finos, en la que posteriormente a su extensión y compactación se introduce una lechada habitualmente de cemento con resinas que se vibra con rodillo y se espera a que adquiera la resistencia necesaria.

Con estos pavimentos se pretende obtener un firme resistente a las variaciones de temperatura, al derrame de aceites y al punzonamiento y que al mismo tiempo sea más flexible que los de hormigón, pero son susceptibles a las tensiones de tracción que aparecen en la cara inferior de la capa. Pavimentos de este tipo, por sus características antiabsorbentes y antideslizantes pueden ser utilizados en las zonas de uso pesquero (en las lonjas especialmente).

5.2.10. LECHOS DE GRAVAS

Son zonas, delimitadas por un bordillo o encintado de hormigón, cuyo objetivo exclusivo es el apilamiento de contenedores, de manera que los equipos de manipulación circulan por el exterior (por tanto, sobre alguno de los otros tipos de pavimento o sobre las correspondientes vigas carril en el caso de los pórticos). En su interior los lechos están formados por una capa de grava de machaqueo y granulometría uniforme, de 0,35-0,40 m de espesor, convenientemente nivelada y compactada sobre una capa de apoyo. El tamaño máximo nominal del árido no debe ser superior a 50 mm, con un coeficiente de desgaste Los Ángeles no superior a 30.

La resistencia de estos firmes radica en la angulosidad y resistencia al desgaste de los áridos empleados y en el confinamiento lateral que impone el bordillo de hormigón. Constituyen superficies de una magnífica drenabilidad y cuya irregularidad permite un mejor reparto de las cargas que transmiten los contenedores. Su mayor inconveniente radica en que suponen una rigidez importante en la explotación de las superficies, haciendo poco viables otros usos alternativos.

Debe garantizarse que el lecho de gravas no se va a contaminar con finos procedentes de la superficie de apoyo o de las zonas circundantes. En consecuencia, hay que comprobar que se satisfacen las condiciones de filtro; si no es así deberá colocarse un geotextil separando dichas superficies. Por otro lado, cuando el cimiento no sea suficientemente permeable es imprescindible la disposición de los correspondientes sistemas de drenaje subterráneo para dar salida a las aguas infiltradas a través del lecho de gravas.

La única necesidad de conservación consiste en que al cabo de varios meses, según la mayor o menor intensidad de uso, estas superficies deben ser reniveladas. Para que la incidencia en la explotación sea mínima, estas operaciones deben estar estrictamente programadas.

5.3. COMENTARIO FINAL

La selección de unas unidades de obra u otras para constituir un firme se debe basar en un análisis de sus características técnicas, valorando sus ventajas e inconvenientes. A este respecto debe tenerse en cuenta que las distintas superficies portuarias tienen requerimientos distintos y, por tanto, puede que el tipo de solución difiera sensiblemente de unas a otras. Pero además es importante tener en cuenta que la decisión final ha de valorar la durabilidad real de la sección y el coste global de la misma, es decir junto a un análisis de los costes de construcción hay que realizar alguna estimación sobre los de conservación.

6.1.	INTRODUCCIÓN	93
6.2.	FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO DE LOS FIRMES PORTUARIOS	93
6.2.1.	USO DE LA SUPERFICIE PORTUARIA	93
6.2.2.	EQUIPOS DE MANIPULACIÓN	94
6.2.3.	CARACTERÍSTICAS DEL RELLENO	94
6.2.4.	CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DISPONIBLES	94
6.2.5.	VIDA ÚTIL	94
6.3.	BASES DEL CATÁLOGO	94
6.3.1.	INTRODUCCIÓN	94
6.3.2.	MODELOS Y PARÁMETROS DE CÁLCULO	95
6.3.3.	CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO	95
6.4.	DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE DIMENSIONAMIENTO MEDIANTE EL EMPLEO DEL CATÁLOGO	95
6.4.1.	SELECCIÓN DEL USO DE LA SUPERFICIE PORTUARIA	96
6.4.2.	SELECCIÓN DE LA ZONA DENTRO DEL USO CONSIDERADO	96
6.4.3.	DISTINCIÓN ENTRE CARGAS DE ALMACENAMIENTO Y CARGAS DE MANIPULACIÓN	96
6.4.4.	DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE CÁLCULO	96
6.4.5.	DETERMINACIÓN DE LA INTENSIDAD DE USO	96
6.4.6.	DETERMINACIÓN DE LA CATEGORÍA DEL TRÁFICO	96
6.4.7.	DETERMINACIÓN DE LA CATEGORÍA DE LA EXPLANADA	96
6.4.8.	CAPAS INFERIORES DEL FIRME	97
6.4.9.	ELECCIÓN DEL TIPO DE FIRME	97

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 éstos 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 siguiente 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 una carga de cálculo que se aplica con una cierta intensidad de uso, por lo que es fundamental valorar ambos parámetros. Hay que señalar que la carga de cálculo de mayor magnitud no es necesariamente la que produce el mayor deterioro, sino aquella en que la combinación de magnitud e intensidad proporcionan una situación crítica; ésta es la que hay que considerar en el proceso.

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 desconociese dicho uso, 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.
- Número 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 de los fondos sobre los que se apoya y de la coronación de dicho relleno, son fundamentales para elegir el firme y, en particular, para decidir sobre el eventual empleo de capas de base y/o subbase.

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 0.2. 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 25 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).

En este documento se ha adoptado como base de cálculo y con carácter general una vida útil de 25 años para los firmes definitivos, al considerarse que se trata de infraestructuras de carácter general. Según ROM 0.2-90, en los casos concretos en los que se pueda asignar al firme un carácter industrial específico, el proyectista podrá rebajar la vida útil a 15 años. Por su parte, para firmes provisionales se ha adoptado como base de cálculo y con carácter general una vida útil de 8 años. En los casos concretos en los que el proyectista pueda prever que en menos tiempo cambiará radicalmente el uso de la superficie o que se construirá el firme definitivo, podrá adoptar una vida útil de 3 años.

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 estriba 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 adicionales debidos a impactos, giros, frenadas, irregularidades superficiales,

etc., pueden ser importantes, aunque esto no condiciona 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.

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, aunque no sea más que con carácter de tanteo previo, 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 de hormigón también se han hecho comprobaciones con la ayuda de nomogramas y fórmulas simplificadas basadas en las hipótesis de Westergaard (también descritas en 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.

6.3.3. CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO

En el caso de materiales flexibles (mezclas bituminosas y capas granulares o explanadas) se ha utilizado como criterio analítico de referencia la ley de fatiga correspondiente. En el hormigón el criterio de referencia es que la tensión de tracción por flexión no supere las dos terceras partes de la resistencia característica a flexotracción, habiéndose realizado también en algún caso (depósito de contenedores) comprobaciones de resistencia al punzonamiento mediante el método descrito en la Instrucción EH-91. Finalmente, en ambos casos los resultados obtenidos en el cálculo analítico se han ajustado en función de la experiencia existente y de criterios empíricos.

Para el depósito de contenedores, las soluciones propuestas de pavimento de hormigón responden también a criterios empíricos, pero no satisfacen los requerimientos teóricos de los modelos de cálculo, por lo que existe la posibilidad de que se produzcan fisuraciones del pavimento. Sin embargo, dicha fisuración puede considerarse un deterioro admisible, compatible con la explotación, siempre que se trate de zonas exclusivas para el depósito de los contenedores, y dé su conformidad el Cliente o la Propiedad. Si se quisiese garantizar una ausencia absoluta de cualquier tipo de deterioro empleando estas superficies de hormigón, habría que proceder al dimensionamiento de soleras de hormigón armado siguiendo los criterios y procedimientos de la Instrucción EH-91; sin embargo, esta solución no se considera una práctica recomendable con generalidad.

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 e firme para una zona definida específicamente dentro del uso considerado. Por ejemplo, dentro del uso comercial se diferencian las zonas de operación, las de almacenamiento, las vías de comunicación y las zonas complementarias (tabla 2.1).

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)(apartados 3.1.1 y 3.1.2, respectivamente). Cuando la zona portuaria objeto de estudio requiera la consideración de los dos tipos de cargas anteriores, se realizará el estudio para ambos y se elegirá como determinante el que arroje la situación más desfavorable (categoría de tráfico más elevada); 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.

Para firmes provisionales, no se establecen, al menos en principio, diferencias entre los distintos usos y zonas, debiendo sólo considerarse la compatibilidad de las deformaciones esperadas con los requerimientos de la explotación.

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 (apartado 3.3).

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 (apartado 3.4).

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 (tabla 3.3). Se han establecido cuatro categorías de tráfico:

Tráfico muy pesado	A
Tráfico pesado	B
Tráfico medio	C
Tráfico ligero	D

6.4.7. DETERMINACIÓN DE LA CATEGORÍA DE LA EXPLANADA

Teniendo en cuenta las características del relleno y de la coronación sobre los que se ha de construir el firme se elige la categoría de explanada a considerar en el dimensionamiento.

Se han considerado cuatro categorías de explanada atendiendo a su capacidad de soporte; ésta es consecuencia de las características del relleno y de la coronación:

Explanada deficiente	E0
Explanada aceptable	E1
Explanada buena	E2
Explanada muy buena	E3

La determinación de la categoría de explanada se realiza de acuerdo con la metodología expuesta en la Parte 4, teniendo en cuenta que la categoría E0 sólo es admisible para firmes provisionales.

6.4.8. CAPAS INFERIORES DEL FIRME

La colocación o no de capas inferiores de base y/o subbase se lleva a cabo en función de la categoría de la explanada que se haya obtenido. Así, se consideran las siguientes cuatro posibilidades:

Explanada E0: Sobre estas explanadas han de disponerse una capa de subbase de 0,40 m de zahorra natural y otra capa de base de 0,25 m de zahorra artificial.

Explanada E1: Sobre este tipo de explanada se debe extender una capa de subbase de 0,25 m de zahorra natural y otra de base con un espesor de 0,25 m de zahorra artificial.

Explanada E2: En esta situación debe extenderse una capa de base con un espesor de 0,25 m de zahorra artificial.

Explanada E3: Sobre este tipo de explanada no se coloca ninguna capa de base ni de subbase, salvo que se indique lo contrario al definirse el pavimento en la correspondiente ficha del catálogo. De todas formas, para conseguir una adecuada regularidad superficial puede recurrirse a la extensión de una capa de zahorra artificial de 0,15 m de espesor como mínimo.

En todos los casos, si no se dispone de zahorras naturales se sustituirán por zahorras artificiales, pudiéndose reducir el espesor de aquéllas hasta 0,05 m.

Cuando el firme se vaya a construir sobre otro provisional existente, habrá de evaluarse su estado y en particular su regularidad superficial. Si no se aprecian deformaciones notables se extenderá directamente el pavimento como si se tratase de una explanada E3. Salvo que este nuevo pavimento esté formado por adoquines o mezclas bituminosas, en cuyo caso deberá considerarse la eventual aportación estructural del firme existente.

En caso contrario, habrá que proceder a su regularización superficial previamente a la extensión del pavimento. En ese caso, si el firme existente está formado por capas granulares, por capas granulares y un riego con gravilla, o por capas granulares con una mezcla bituminosa de pequeño espesor y muy deteriorada, se escarificará la superficie y luego se regularizará extendiendo zahorra artificial con un espesor mínimo de 0,15 m. En los demás casos, se levantará el pavimento existente o se regularizará mediante la extensión de mezcla bituminosa en un espesor mínimo de 0,05 m.

6.4.9. ELECCIÓN DEL TIPO DE FIRME

Con las categorías de explanada y de tráfico, se selecciona uno de los tipos de firme 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.

7.1. INTRODUCCIÓN	103
7.2. PRESCRIPCIONES QUE DEBEN CUMPLIR LAS CORONACIONES DE LOS RELLENOS	103
7.2.1. CONSIDERACIONES GENERALES	103
7.2.2. SUELOS	103
7.2.3. TODO UNO DE CANTERA	103
7.3. PRESCRIPCIONES QUE DEBEN CUMPLIR LAS UNIDADES DE OBRA DE FIRME	104
7.3.1. CONSIDERACIONES GENERALES	104
7.3.2. ZAHORRAS NATURALES	104
7.3.3. ZAHORRAS ARTIFICIALES	104
7.3.4. MACADAM	105
7.3.5. SUELOCEMENTO	105
7.3.6. GRAVACEMENTO	105
7.3.7. GRAVAESCORIA	106
7.3.8. GRAVAEMULSIÓN	106
7.3.9. HORMIGÓN MAGRO	106
7.3.10. PAVIMENTOS DE HORMIGÓN VIBRADO	107
7.3.11. PAVIMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO	108
7.3.12. PAVIMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS DE ACERO	108
7.3.13. HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO	109
7.3.14. ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN	109
7.3.15. RIEGOS CON GRAVILLA	110
7.3.16. LECHADAS BITUMINOSAS	110
7.3.17. MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE	111
7.3.18. MEZCLAS BITUMINOSAS EN FRÍO	112
7.3.19. PAVIMENTOS PERCOLADOS	113
7.3.20. LECHOS DE GRAVAS	113

7.4.	CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS	113
7.4.1.	DESCRIPCIÓN	113
7.4.2.	ZONAS DE OPERACIÓN	113
7.4.3.	ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE GRANELES SÓLIDOS	113
7.4.4.	ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍA GENERAL	113
7.4.5.	ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES	113
7.4.6.	ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE SEMIRREMOLQUES. TERMINALES RO-RO	114
7.4.7.	ZONAS DE USO PESQUERO	114
7.4.8.	VÍAS DE COMUNICACIÓN	114
7.4.9.	OTRAS ZONAS	114
7.5.	DETALLES CONSTRUCTIVOS	114
7.5.1.	ENTREVÍAS	114
7.5.2.	JUNTAS	115
7.6.	EVACUACIÓN DE PLUVIALES	115
7.6.1.	PENDIENTES	115
7.6.2.	CONDUCCIONES Y ARQUETAS	115

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 Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente). Dichas prescripciones están contenidas en el *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes*, cuya redacción se autorizó por Orden Ministerial (O.M.) de 21 de enero de 1988 (BOE de 3 de febrero), en la cual se denominaba abreviadamente a dicho Pliego como PG-4/88. Sin embargo, no existe una edición refundida del mismo, por lo que ha de considerarse que a efectos prácticos está formado por el *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales* PG-3/75 (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.

7.2. PRESCRIPCIONES QUE DEBEN CUMPLIR LAS CORONACIONES DE LOS RELLENOS

7.2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Para coronaciones de los rellenos portuarios se pueden emplear por un lado 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.

7.2.2. SUELOS

Para estos materiales es de aplicación el artículo 330 del PG-3/75. Puede tratarse, siguiendo las denominaciones de dicho artículo y de menor a mayor categoría: suelos adecuados, seleccionados y seleccionados con CBR > 20.

7.2.3. TODO UNO DE CANTERA

Es una mezcla sin clasificar de materiales gruesos y finos, obtenidos de frentes de cantera y de la cual se eliminarán los materiales cuyo tamaño supere e 50 % del espesor de la tongada y en cualquier caso los superiores a 20 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)

7.3. PRESCRIPCIONES QUE DEBEN CUMPLIR LAS UNIDADES DE 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. ZAHORRAS NATURALES

En relación a esta unidad de obra se estará a lo dispuesto en el anexo 3 de la O.M. de 31 de julio de 1986 (BOE de 5 de septiembre), según se establece en la O.C. 311/90 C y E de la Dirección General de Carreteras.

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.

La zahorra natural tendrá un CBR no inferior a 20 determinado sobre probetas de muestra compactada con la humedad óptima del Proctor modificado y una densidad del 97 % de la máxima. El material deberá cumplir además las siguientes condiciones: límite líquido inferior a 25 e índice de plasticidad inferior a 6.

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 con compactadores de neumáticos y/o rodillos vibratorios y continuará hasta alcanzar una densidad no inferior a la que corresponda al 95 % de la máxima obtenida en el ensayo Proctor modificado.

Se admite que el control de la compactación se lleve a cabo mediante técnicas de isótopos radiactivos, siempre y cuando el Director de las Obras haya aprobado expresamente y con carácter previo las correlaciones que se han de establecer al efecto.

Realizado el ensayo de carga con placa, el valor del módulo E_2 no será inferior en ningún caso a 55 MPa. Por su parte, la relación E_2/E_1 no debe ser superior a 2.

La superficie acabada no deberá diferir de la teórica en ningún punto en más de 0,030 m. Comprobada la superficie acabada con regla de 3 m, las irregularidades no sobrepasarán en ningún punto los 0,015 m.

7.3.3. ZAHORRAS ARTIFICIALES

Se estará a lo dispuesto en el anexo 4 de la O.M. de 31 de julio de 1986 (BOE de 5 de septiembre), según se establece en la Orden Circular 311/90 C y E de la Dirección General de Carreteras.

Los materiales procederán de la trituración de piedra de cantera o grava natural, debiendo tener el rechazo por el tamiz 5 UNE un mínimo del 50 % de elementos triturados que presenten no menos de 2 caras de fractura.

La curva granulométrica estará comprendida deseablemente dentro del huso denominado ZA (25).

El coeficiente de desgaste Los Angeles será inferior a 35. El equivalente de arena será mayor de treinta (30).

La zahorra artificial se extenderá en una única tongada con motoniveladora o con extendedora.

La compactación se realizará con compactadores de neumáticos y/o con rodillos vibratorios y continuará hasta alcanzar una densidad no inferior a la que corresponda al 97 % de la máxima obtenida en el ensayo Proctor modificado.

Se admite que el control de la compactación se lleve a cabo mediante técnicas de isótopos radiactivos, siempre y cuando el Director de las Obras haya aprobado expresamente y con carácter previo las correlaciones que se han de establecer al efecto.

Realizado el ensayo de carga con placa, el valor del módulo E_2 no será inferior en ningún caso a 80 MPa; la relación E_2/E_1 no será superior a 2.

La superficie acabada no deberá diferir de la teórica en ningún punto en más de 0,020 m. Comprobada la superficie acabada con regla de 3 m, las irregularidades no sobrepasarán en ningún punto los 0,010 m.

7.3.4. MACADAM

Las prescripciones generales correspondientes a esta unidad de obra están recogidas en el artículo 502 del PG-3/75.

Para el esqueleto del macadam se emplearán áridos gruesos de tamaño uniforme (de 50 a 80 mm), con un coeficiente Los Angeles no superior a 30 y una proporción mínima del 75 % de partículas trituradas con dos o más caras de fractura.

Tras la extensión y compactación del esqueleto de áridos gruesos se procederá a su recebo con una arena cuyos finos (tamaños inferiores a 80 μm) no sean plásticos y su proporción no supere el 25 % en peso.

7.3.5. SUELOCEMENTO

Esta unidad de obra es la definida en el artículo 512 del PG-3/75 como suelo estabilizado con cemento por el método de mezcla en central, con las prescripciones adicionales indicadas en la *Instrucción 6.1 y 2 IC de secciones de firme*.

El suelo cumplirá deseablemente las especificaciones dadas para los suelos seleccionados (apartado 7.2.3). Por su parte, se empleará cemento con adiciones, especialmente aquéllos que responden a la denominación de «resistencia baja» (tipos II-25, III-25, IV-25 y V-25). En ningún caso podrán emplearse cementos aluminosos (tipo VI).

El contenido de agua de la mezcla en el momento de la compactación estará entre un punto por debajo y la óptima obtenida en el ensayo de apisonado Proctor modificado. El contenido de cemento será el mínimo que permita alcanzar las resistencias especificadas.

El proceso de fabricación, transporte, extensión, compactación y curado es idéntico al de la gravacemento, salvo en lo que se refiere al fraccionamiento de los áridos que debe llevarse a cabo en este último caso.

7.3.6. GRAVACEMENTO

Esta unidad de obra es la definida en el artículo 513 del PG-3/75, con las prescripciones adicionales indicadas en la *Instrucción 6.1 y 2 IC de secciones de firme*.

La mezcla de áridos se ajustará en general al huso denominado GC 1 y se elaborará a partir de un mínimo de dos fracciones diferentes y deseablemente de tres. Las características exigidas a estos áridos serán las mismas indicadas en el caso de las zahorras artificiales (apartado 7.3.3). Por su parte, se empleará cemento con adiciones, especialmente aquéllos que responden a la denominación de «resistencia baja» (tipos II-25, III-25, IV-25 y V-25). En ningún caso podrán emplearse cementos aluminosos (tipo VI).

El contenido de agua de la mezcla en el momento de la compactación estará medio punto por debajo del que proporcione la máxima densidad en el ensayo de apisonado Proctor modificado. El contenido de cemento será el mínimo que permita alcanzar las resistencias especificadas. En tiempo caluroso se incorporarán retardadores de fraguado.

La fabricación se realizará siempre en centrales de funcionamiento continuo con dispositivos de dosificación ponderal de los componentes. El transporte se realizará 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.

7.3.7. GRAVAESCORIA

Esta unidad de obra es la definida en el artículo 515 del PG-3/75.

Los áridos empleados se diferencian de los de la gravacemento fundamentalmente en la menor proporción de materiales de tamaño inferior a 80 μm . De los husos especificados se empleará en general el denominado GEG 1.

El conglomerante será una escoria granulada de horno alto con un coeficiente de reactividad superior a 20, valor en función del cual se empleará una u otra proporción de escoria: del 20 % sobre peso seco de los áridos con coeficientes de reactividad bajos, 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 % de cal.

El proceso de fabricación y puesta en obra se diferencia del de la gravacemento en que no existen limitaciones de tiempo entre el momento en que se realiza la mezcla y el de finalización de la compactación. Por otro lado, la extensión se puede realizar con motoniveladora, aunque siempre es preferible el empleo de extendedoras.

7.3.8. GRAVAEMULSIÓN

Las prescripciones vigentes están recogidas en el artículo 514 del PG-3/75. En él están especificados dos husos granulométricos: GEA 1 y GEA 2. Se diferencian por el tamaño máximo nominal del árido (20 y 25 mm, respectivamente), recomendándose el primero de ellos por ser menores los problemas de segregaciones.

En todos los casos, los áridos deben tener un coeficiente Los Angeles no superior a 35, un índice de lajas tampoco superior a 35 y un mínimo del 50 % de partículas gruesas con dos o más caras de fractura. El índice de plasticidad del árido fino debe ser siempre no superior a 10 y el equivalente de arena debe ser como mínimo de 30.

La gravaemulsión ha de fabricarse en principio en centrales continuas, del mismo tipo que las empleadas para la fabricación de mezclas bituminosas en frío o de otras gravas tratadas. Sin embargo, también puede fabricarse en centrales asfálticas discontinuas convencionales (sin pasar los áridos por el tambor secador).

La mezcla puede verterse directamente sobre camión o acopiarse, en cuyo caso se deberá contar con silos de recepción o preparar espacios para evitar contaminaciones o segregaciones de la mezcla antes de su transporte. Este no requiere precauciones especiales, pudiéndose utilizar los mismos medios que para cualquier mezcla en frío.

La extensión puede realizarse con extendedora o con motoniveladora. Para la compactación se emplearán rodillos vibratorios y/o compactadores de neumáticos con alta carga por rueda. Una vez extendida la mezcla, puede iniciarse la compactación inmediatamente o esperar incluso varias horas. En cualquier caso, la compactación debe efectuarse antes de que el proceso de rotura de la emulsión haya concluido.

En el caso de que la capa de gravaemulsión tenga que abrirse al tráfico antes de extender la capa de rodadura correspondiente, es necesaria la aplicación de un tratamiento de sellado. Dicho tratamiento consistirá en un riego con emulsión de rotura rápida (unos 0,5 kg/m² de ligante residual) y un ligero enarenado (unos 4 l/m²).

7.3.9. HORMIGÓN MAGRO

Son de aplicación las especificaciones contenidas en la O.C. 311/90 CyE, de 20 de marzo

de 1990, que modifica el artículo 550 (Pavimentos de hormigón vibrado) del PG-3/75, completadas con las contenidas en el anexo 2 de la O.M. de 31 de julio de 1986.

Se empleará cemento con adiciones, especialmente aquéllos que responden a la denominación de «resistencia media» (tipos II-35, III-35, IV-35 y V-35). En ningún caso podrán emplearse cementos aluminosos (tipo VI). La dosificación mínima de cemento será de 140 kg/m^3 . Los áridos se suministrarán al menos en tres tamaños: 0-5 mm, 5-20 mm y 20-40 mm. El árido fino deberá presentar un equivalente de arena superior a 70. El hormigón alcanzará una resistencia a compresión mínima de 10 MPa a los 28 días.

La producción de la central de fabricación será suficiente para garantizar un suministro continuo a los equipos de extensión. Esta central será del mismo tipo de la empleada para la fabricación del hormigón de pavimento.

Antes de la extensión del hormigón se habrá procedido al refinado de la subbase granular, aconsejándose el empleo de una refinadora con nivelación automática para garantizar una superficie perfectamente nivelada y con la tolerancia en cotas exigidas, que será de menos de 0,010 m comprobada con regla de 3 m.

La extensión del hormigón magro se llevará a cabo con los mismos equipos empleados para la extensión del pavimento de hormigón. Se observarán las mismas precauciones frente a la temperatura, humedad atmosférica y lluvia.

7.3.10. PAVIMENTOS DE HORMIGÓN VIBRADO

Es de aplicación en esta unidad de obra la O.C. 311/90 CyE, de 20 de marzo de 1990, que modifica el artículo 550 del PG-3/75.

Se empleará cemento con adiciones, especialmente aquéllos que corresponden a la denominación de «resistencia media» (tipos II-35, III-35, IV-35 y V-35). No se podrá emplear cemento aluminoso (tipo VI) ni mezclas de cemento con adiciones que no hayan sido realizadas en la fábrica de cemento. El principio de fraguado no podrá tener lugar antes de las dos horas. No obstante, si el hormigonado se realizase con temperatura ambiente superior a 25°C , el principio de fraguado no podrá tener lugar antes de una hora.

El tamaño máximo del árido no será superior a 40 mm. El árido grueso estará formado por al menos tres tamaños diferentes: 5-12 mm, 12-25 mm y 25-40 mm. El equivalente de arena del árido fino no será inferior a 80. El contenido mínimo de partículas silíceas en el árido fino será del 30 % en viales de acceso y del 20 % en el resto de las superficies.

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. El aireante será de características tales que las burbujas de aire ocluido producidas tengan un diámetro comprendido entre 10 y $200 \mu\text{m}$ y se encuentren uniformemente repartidas en el hormigón. Su dosificación será del 4 %. Si se emplearan superplastificantes para mejorar las resistencias alcanzadas, se limitará su dosis a $0,4 \text{ kg/m}^3$.

El hormigón a emplear en el pavimento será en general del tipo HP 40, debiendo alcanzar una resistencia característica a flexotracción a los 28 días igual o superior a 4 MPa. El asiento del hormigón, medido con el cono de Abrams, no será inferior a 0,02 m ni superior a 0,06 m. La dosificación de cemento no será inferior a 300 kg/m^3 de hormigón fresco. Por su parte, el contenido de partículas cernidas por el tamiz 0,16 UNE no será mayor de 450 kg/m^3 de hormigón fresco, incluyendo entre aquéllas el cemento y las adiciones. La relación ponderal agua/cemento no será superior a 0,50.

El hormigón para pavimento se fabricará en centrales de mezcla discontinua, capaces de manejar simultáneamente el número de fracciones del árido que exija la fórmula de trabajo adoptada.

Se interrumpirá el hormigonado cuando llueva con una intensidad que pueda, a juicio del Director de las Obras, provocar la deformación del borde de las losas. Apenas la

temperatura ambiente rebase los 25° C, deberá controlarse constantemente la temperatura del hormigón, la cual no deberá rebasar en ningún momento los 30° C. El Director de las obras podrá ordenar la adopción de precauciones suplementarias a fin de que no se supere dicho límite. Cuando la temperatura ambiente sea inferior a 5° C, deberá controlarse constantemente la temperatura del hormigón, adoptando en su caso las precauciones necesarias e interrumpiendo el hormigonado si fuera preciso.

Una vez acabado el pavimento, y antes de que comience a fraguar el hormigón, se pasará una arpillera con objeto de conseguir una superficie áspera que proporcione una suficiente resistencia al deslizamiento.

Se recomienda emplear un producto filmógeno de base parafínica para el curado de las capas de hormigón magro y de base de resina para el curado del hormigón de pavimentos. La dotación se determinará mediante la ejecución de un tramo de ensayo y será, como mínimo, igual a 0,230 kg/m² para el hormigón magro y de 0,250 kg/m² para el hormigón de pavimento. El Director de las obras podrá variar dichas dotaciones si las circunstancias atmosféricas así lo aconsejan. Los pulverizadores deberán asegurar un reparto continuo y uniforme a todo lo ancho de la losa y en sus costados descubiertos. Deberán ir provistos de dispositivos que proporcionen una adecuada protección del producto pulverizado contra el viento y de un dispositivo mecánico en el tanque de almacenamiento del producto que lo someta a éste a una continua agitación durante su aplicación. En zonas pequeñas, irregulares o inaccesibles a dispositivos mecánicos, el Director de las obras podrá autorizar el empleo de pulverizadores manuales.

Las losas tendrán dimensiones de aproximadamente 5x5 m². Cuando se hormigone por bandas, se procederá a la creación de juntas transversales de contracción cada 5 m, mediante serrado una vez que el hormigón está suficientemente endurecido. El número de sierras deberá ser suficiente para seguir el ritmo de hormigonado sin retrasarse, debiendo haber siempre al menos una de reserva.

El Director de las obras deberá indicar las medidas encaminadas a obtener una regularidad superficial aceptable en la superficie sobre la que vaya a extenderse el hormigón y, en su caso, reparar las zonas dañadas. Las desviaciones en planta respecto a la alineación teórica no deberán ser superiores a 0,03 m. Las irregularidades que excedan de las tolerancias especificadas, y las zonas que retengan agua sobre la superficie, deberán corregirse según las instrucciones del Director de las obras.

El tráfico de obra no podrá circular sobre el pavimento antes de tres días, ni de que el hormigón haya alcanzado una resistencia a flexotracción del ochenta por ciento de la exigida. La apertura a la circulación ordinaria no podrá realizarse antes de siete días del acabado del pavimento.

7.3.11. PAVIMENTOS CONTINUOS DE HORMIGÓN ARMADO

Salvo en lo que se refiere a la no necesidad de creación de juntas de contracción, se satisfarán todas las especificaciones dadas para los pavimentos de hormigón vibrado (apartado 7.3.10).

Las armaduras serán en general barras corrugadas de acero de límite elástico no inferior a 510 MPa. La cuantía geométrica longitudinal será del 0,6 %, empleándose barras con un diámetro no inferior a 0,016 m. Se emplearán también barras transversales con un diámetro de 0,008 m como armadura de reparto. Las armaduras se colocarán en el centro de la sección.

7.3.12. PAVIMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS DE ACERO

Se satisfarán en esta unidad de obra todas las especificaciones dadas para los pavimentos de hormigón vibrado (apartado 7.3.10), 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 serán de acero tretilado, con resistencia a la tracción no inferior a 1200 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/m³.

7.3.13. HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO

Son de aplicación las especificaciones contenidas en el anexo 1 de la O.M. de 31 de julio de 1986.

La mezcla de áridos se ajustará a husos de granulometría continua, con tamaños máximos de 16 o de 20 mm, y se elaborará a partir de un mínimo de dos fracciones diferentes y deseablemente de tres. Las características exigidas a estos áridos serán similares a las indicadas en el caso de las zahorras artificiales (apartado 7.3.3), comprobándose que en la mezcla de áridos el índice CBR (sin disponer sobrecarga anular y sin efectuar imbibición) no sea inferior a 65. Por su parte, se empleará cemento con adiciones, especialmente aquéllos que responden a la denominación de «resistencia media» (tipos II-35, III-35, IV-35 y V-35).

El contenido de agua de la mezcla en el momento de la compactación será la que proporcione la máxima densidad en el ensayo de apisonado Proctor modificado. El contenido de cemento será el necesario para alcanzar las resistencias especificadas, recomendándose que no baje de 300 kg/m³.

Se ha de controlar especialmente el plazo de trabajabilidad de la mezcla. En tiempo caluroso se incorporarán retardadores de fraguado.

La fabricación se realizará en centrales de funcionamiento continuo, como las empleadas para la fabricación del suelocemento y la gravacemento, 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 extendidora. 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.

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.

7.3.14. ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

El hormigón de los adoquines prefabricados tendrá una resistencia característica a comprensión 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 Angeles 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 80 μ m 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 80 μ m 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.

7.3.15. RIEGOS CON GRAVILLA

Se seguirán las prescripciones contenidas en la O.C. 297/88 T, de 29 de marzo de 1988, que modifica, entre otros, el artículo 533 (Tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla) del PG-3/75.

Los ligantes hidrocarbonados que se han de utilizar en los riegos con gravilla serán emulsiones bituminosas de rotura rápida.

Los áridos deben ser de granulometría uniforme, procedentes de machaqueo (más del 50 % de las partículas con dos o más caras de fractura), limpios, con buena forma (índice de lajas menor de 30), resistentes al desgaste (coeficiente Los Angeles inferior a 30) y no pulimentables (coeficiente de pulido acelerado no inferior a 0,40), si bien esta última exigencia puede obviarse en zonas donde no exista circulación continuada de vehículos.

Para establecer la dotación de ligante y de áridos puede utilizarse la denominada regla del décimo. En un riego monocapa o en cada capa de un riego bicapa:

- Dotación de gravilla: $(D+d)/2 \text{ l/m}^2$
- Dotación de betún residual: $[(D+d)/2]/10 \text{ kg/m}^2$

siendo D y d los tamaños máximo y mínimo (en mm), respectivamente, de la gravilla empleada. Las dotaciones así obtenidas deben considerarse como meramente orientativas y corregirse en función de factores tales como el tamaño medio de la gravilla, la absorción de la misma, su forma, la permeabilidad de la superficie sobre la que se extiende el riego, el tipo de ligante utilizado, etc. En los riegos bicapa, manteniendo la misma cantidad total de ligante residual, se recomienda disminuir algo la cantidad en la primera aplicación para aumentarla correlativamente en la segunda.

En los riegos con gravilla no es admisible otra práctica de extensión del ligante que la de regar con cisterna. Por su parte, el procedimiento de extensión de las gravillas debe garantizar la máxima homogeneidad, recurriéndose al empleo de extendedoras, que pueden ser de diferentes tipos: de compuerta acoplada a la caja del camión, con tolva empujada por el camión o autopropulsadas.

En los riegos monocapa, el apisonado de las gravillas se debe realizar con rodillos de neumáticos de alta presión. En los riegos bicapa, antes de extender la segunda aplicación de ligante conviene dar alguna pasada con un rodillo liso ligero; tras la segunda aplicación de gravilla, el apisonado es igual que en los riegos monocapa. En todos los casos, todas las fases de la ejecución se deben suceder dejando transcurrir el menor tiempo posible entre ellas.

7.3.16. LECHADAS BITUMINOSAS

Se seguirán las prescripciones contenidas en la O.C. 297/88 T, de 29 de marzo de 1988, que modifica, entre otros, el artículo 540 (Tratamientos superficiales con lechada bituminosa) del PG-3/75.

Los tipos de tratamientos superficiales con lechada bituminosa están en función del tamaño máximo del árido (normalmente de 2,5 a 10 mm) y de la dotación con la que se extienden, que suele ir desde 5 a 20 kg/m². Con dotaciones altas se recurrirá a la extensión en dos capas sucesivas.

Los áridos deben ser arenas de machaqueo, duras y muy limpias. Su granulometría debe ajustarse a alguno de los husos especificados. El ligante hidrocarbonado ha de ser una emulsión bituminosa de rotura lenta, preferiblemente controlada, elegida en función de las características del árido, de la climatología en la que se va a desarrollar la puesta en obra y de las características de los equipos de aplicación disponibles.

Las características de la lechada deben ser función de la aplicación que se le vaya a dar. Se han de fijar los siguientes puntos: tipo de lechada, composición de la misma y dotación y número de capas con las que se va a extender.

La formulación debe establecerse en laboratorio. Han de realizarse ensayos de consistencia y ensayos mecánicos de abrasión (a veces complementados por ensayos de exudación). Los contenidos de agua con respecto al peso de los áridos suelen variar entre el 8 y el 20 % (aparte del agua propia de la emulsión), mientras que los de la emulsión bituminosa van desde el 10 % hasta más del 20 % en ocasiones.

Las lechadas se fabrican en mezcladoras móviles sobre camión que también las extienden. El equipo consta, básicamente, de una serie de depósitos para los diversos componentes y de un mezclador de tipo continuo. Del mezclador pasa la lechada a una caja repartidora o rastra a través de una compuerta regulable. Esta rastra va remolcada sobre la superficie a tratar y termina en una maestra de goma, regulable en altura.

7.3.17. MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE

Se estará a lo dispuesto en la O.C. 299/89 T, de 23 de febrero de 1989, de la Dirección General de Carreteras, que modifica el artículo 542 del PG-3/75

El ligante bituminoso a emplear será en general un betún asfáltico B 60/70.

La proporción mínima de partículas de árido grueso con dos o más caras fracturadas no deberá ser inferior al 95 % en capas de rodadura ni al 75 % en capas inferiores. El máximo coeficiente de desgaste Los Angeles del árido grueso será de 30 en capas inferiores y de 25 en capas de rodadura. El mínimo coeficiente de pulido acelerado del árido grueso de la capa de rodadura no será inferior a 0,40, aunque esta exigencia podrá obviarse en las zonas donde no haya circulación habitual de vehículos. El máximo índice de lajas de las distintas fracciones del árido grueso no será superior a 30.

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 %.

La proporción mínima de polvo mineral de aportación, excluido el inevitablemente adherido a los áridos, será del 100 % en las capas de rodadura y del 50 % en las capas de base. En 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.

Las curvas granulométricas de las mezclas se ajustarán en cada caso a los siguientes husos:

- | | |
|---|------|
| — Capas de rodadura: | S 20 |
| — Capas inmediatamente debajo de las de rodadura: | S 20 |
| — Capas por debajo de las anteriores: | G 25 |

La relación ponderal entre los contenidos de polvo mineral y de ligante hidrocarbonado será aproximadamente de 1,3 en capas de rodadura, de 1,2 en capas situadas inmediatamente debajo de las de rodadura y de 1,0 en capas situadas por debajo de las anteriores.

Los criterios de dosificación de las mezclas bituminosas en caliente empleando el aparato Marshall serán los siguientes:

- | | |
|------------------------------|---|
| — Número de golpes por cara: | 75 |
| — Estabilidad: | > 10 kN |
| — Deformación: | 2-3 mm |
| — Huecos en mezcla: | 4-5 % en capa de rodadura.
5-7 % en capas por debajo de las de rodadura.
6-8 % en capas por debajo de las anteriores. |
| — Huecos en árido: | ≥ 14 % en mezclas S 20.
≥ 13 % en mezclas G 25. |

La máxima velocidad de deformación en el ensayo de pista de laboratorio en el intervalo de 105 a 120 minutos no será superior, para las mezclas en capas de rodadura y en las situadas inmediatamente debajo de ellas, a 15µm/min.

En todo caso, las dosificaciones mínimas de betún asfáltico no bajarán de los siguientes valores (sobre peso seco de los áridos):

- | | |
|----------------------|--------|
| — Capas de rodadura: | 4,50 % |
|----------------------|--------|

- Capas inmediatamente debajo de las de rodadura: 4,25 %
- Capas por debajo de las anteriores: 3,75 %

Los límites de la irregularidad superficial de las capas de mezcla bituminosa no deberán ser superiores a los que se indican a continuación (expresados como irregularidad máxima bajo regla de 3 m):

- Capas de rodadura: 0,005 m
- Capas inferiores: 0,007 m

7.3.18. MEZCLAS BITUMINOSAS EN FRÍO

Esta unidad de obra ha de cumplir el artículo 541 del PG-3/75, salvo en lo que se refiere a los husos granulométricos que serán uno de los dos indicados en la tabla 7.1.

El huso AF 12 se empleará cuando la mezcla se vaya a extender en capas de espesor inferior a 0,06 m; para espesores mayores o iguales de 0,06 m se empleará el huso AF 20.

Los áridos cumplirán las mismas exigencias que se han especificado para las mezclas bituminosas en caliente (apartado 7.3.17), salvo en lo referente a la resistencia al pulimento, que no se exigirá ningún valor. Por su parte, los ligantes a emplear serán emulsiones bituminosas de rotura lenta (ECM o EAM); su dosificación se hará aplicando criterios de superficie específica.

La fabricación se llevará a cabo en centrales de funcionamiento continuo. La extensión podrá realizarse con motoniveladora, aunque se recomienda la extensión con extendedora.

TABLA 7.1. HUSOS GRANULOMÉTRICOS DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN FRÍO		
CEDAZOS Y TAMICES (mm)	CERNIDO PONDERAL ACUMULADO (%)	
	AF 12	AF20
25		100
20	100	70-90
12,5	60-80	50-70
10	45-65	35-55
5	10-35	5-30
2,5	0-5	0-5
0,080	0-2	0-2

Transcurridas al menos dos semanas desde la extensión de la mezcla bituminosa en frío (cuatro semanas en tiempo frío o húmedo) se procederá al sellado de la superficie mediante la aplicación en una sola capa de una lechada bituminosa del tipo LB 3 con una dotación de 10 kg/m³.

7.3.19. PAVIMENTOS PERCOLADOS

Estos pavimentos se construyen a partir de la extensión de una capa de mezcla bituminosa en caliente del tipo PA 12 con un espesor de 0,04 m. Posteriormente se procederá a la introducción mediante vibración de una lechada de cemento con resinas termoendurecibles (poliuretano o epoxi).

7.3.20. LECHOS DE GRAVAS

Los lechos de gravas estarán confinados lateralmente por un bordillo o encintado de hormigón. En el interior del recinto así formado los lechos estarán compuestos por una capa de grava de machaqueo y granulometría uniforme, similar a un macadam sin recebar (apartado 7.3.4), de 0,35-0,40 m de espesor, convenientemente nivelada y compactada.

El tamaño máximo nominal del árido no será superior a 50 mm, con un coeficiente de desgaste Los Ángeles no superior a 30. La proporción de partículas trituradas con dos o más caras de fractura será del 100 %.

7.4. CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS

7.4.1. DESCRIPCIÓN

Las características superficiales de los pavimentos no suelen tener una relación directa con la resistencia estructural del firme (todo lo más con la de unos pocos centímetros superiores). 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.
- Etc.

7.4.2. ZONAS DE OPERACIÓN

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.

7.4.3. ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE GRANELES SOLIDOS

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.

7.4.4. ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE MERCANCIA 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-equipo de manipulación, pues superficies especialmente resistentes al desgaste pueden producir consumos de neumáticos muy elevados. En aquellas zonas localizadas en que se prevean importantes esfuerzos horizontales (p. e. zonas de giro de pórticos de almacenamiento) se colocarán planchas de acero de 0.020 m de espesor ancladas al pavimento (ver apartado 3.1.2.3.).

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 (con áridos especiales y adiciones como el humo de sílice); la otra opción consiste en reforzar las rampas con perfiles laminados de acero o con planchas de palastro.

7.4.7. ZONAS DE USO PESQUERO

En estas zonas, en particular para las lonjas, es de aplicación la Directiva 41/493/CEE de la Comunidad Europea, de 22 de julio de 1991, que 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. VIAS 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: la resistencia al deslizamiento y la regularidad superficial.

Los requerimientos sobre resistencia al deslizamiento serán idénticos que en carreteras. En cuanto a la regularidad superficial, las máximas irregularidades admisibles serán función de la velocidad de circulación y también idénticas a las admitidas en carreteras para dicha velocidad. En caso de no conocerse la velocidad de circulación, se adoptará un valor de 50 km/h en vías de maniobra y de 90 km/h en viales de acceso.

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.

7.5. DETALLES CONSTRUCTIVOS

7.5.1. ENTREVÍAS

Quando el pavimento se encuentre interrumpido por la presencia de carriles, bien sean de ferrocarril o bien de equipos de manipulación de mercancías de circulación restringida, se deberá dotar a éste de un contracarril adecuado para establecer una huella de ancho y profundidad suficiente para el paso de la pestaña de las ruedas y de forma que el borde del pavimento quede debidamente protegido, sin que se produzca resalto entre las vías y el pavimento contiguo.

El agua de escorrentía que se recoge en la canaladura que queda entre carril y contracarril deberá tener salida mediante dispositivos de desagüe al mar o al propio terreno.

Preferentemente se dispondrán entrevías con igual pavimento que las zonas anejas, siempre y cuando quede garantizada la estabilidad de las mismas.

7.5.2. JUNTAS

En los pavimentos de hormigón se utilizarán con generalidad únicamente juntas a tope (sean de contracción, de alabeo o de construcción), evitándose las juntas machihembradas (de ranura y lengüeta). Así mismo, se procurará evitar elementos de junta tales como tablas, perfiles plásticos o metálicos, etc., realizándose en general las juntas de contracción mediante serrado del hormigón suficientemente endurecido. La profundidad del serrado será de 1/4 a 1/3 del espesor de la losa. Sólo en superficies que hayan de soportar tráfico ligero puede recurrirse a la formación de juntas en fresco mediante un debilitamiento de la sección con el empleo de láminas, perfiles de plástico, etc.

En general no se considera necesario sellar las juntas, salvo en algunas situaciones como en las zonas de almacenamiento de graneles sólidos pulverulentos y de manipulación de pescado.

Se dispondrán juntas de dilatación en los cruces de viales y junto a las obras de fábrica (puentes u otras obras de paso, muelles, cerramientos y demás elementos fijos). Estas juntas de dilatación deberán tener en cuenta no sólo los empujes horizontales, sino también los movimientos verticales relativos que pueden producirse. En el caso de las juntas paralelas a cantil, deberán disponerse junto a ellas los pertinentes sistemas de recogida de las aguas de lluvia.

7.6. EVACUACIÓN DE PLUVIALES

7.6.1. PENDIENTES

Se hace referencia tanto a pendientes longitudinales (en paralelo al cantil) como a pendientes 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.

Se procurará que las pendientes transversales no sean inferiores al 0,5 % en pavimentos definitivos y al 0,8 % en pavimentos provisionales. En la medida de lo posible estas pendientes serán a una sola agua en toda la superficie de que se trate, evitándose por tanto las limatesas paralelas al cantil del muelle. Las pendientes 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.

Las pendientes 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 pendiente 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 pendiente longitudinal dicho cambio no debe exceder del 1 %.

7.6.2. CONDUCCIONES Y ARQUETAS

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 procurará que los materiales almacenados o apilados no constituyen una barrera al paso del agua, disponiéndose en caso contrario de los adecuados dispositivos de paso.

Los caudales a desaguar se estimarán aplicando el procedimiento recogido en la Norma 5.1 IC (*Drenaje superficial*) de la Dirección General de Carreteras.

La recogida de las aguas de lluvia se llevará a cabo en canaletas (sumideros continuos), protegidas por rejillas de acero pisables, de manera que en superficie no se produzcan irregularidades apreciables. Las distancias que las aguas de lluvia recorran en superficie no serán en ningún caso superiores a 25 m. A las canaletas se les dotará de la mayor pendiente que sea compatible con la geometría de la superficie y con el nivel de la PMVE (Pleamar Viva Equinoccial). Las canaletas perpendiculares al cantil verterán a otra paralela al mismo, mientras que las paralelas desaguarán por tuberías directas hacia el mar y dispuestas a distancias no superiores a 50 m. En los cruces de las canaletas y en cualquier caso a distancias no superiores a los 25 m se dispondrán arquetas provistas del correspondiente arenero.

En los casos de los lechos de grava, y siempre que el cimiento bajo los mismos por encima del nivel del mar no sea suficientemente permeable, es imprescindible disponer sistemas de drenaje subterráneo para dar salida a las aguas infiltradas a través de los lechos. Estos sistemas pueden estar formados por zanjas drenantes protegidas por geotextiles, en las cuales se colocarán tuberías de plástico ranurado rodeadas de gravillas de tamaño uniforme; el sistema se completará con las correspondientes arquetas. En estas condiciones, los lechos de gravas podrán ser utilizados como sumideros de evacuación de aguas pluviales de las zonas adyacentes pavimentadas.

C.1.	BASES DE UTILIZACIÓN.....	121
C.2.	COMENTARIOS GENERALES.....	121
C.3.	FICHAS DEL CATÁLOGO.....	122

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.

C. 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 15 o 25 años; así mismo, se ofrecen soluciones de carácter provisional, para una vida útil de 3 u 8 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.

C.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 abordararlos de acuerdo con las pautas de dimensionamiento dadas en la parte 6 y en el anejo correspondiente.

Para firmes definitivos se ha adoptado con carácter general una vida útil de 25 años. En el caso en que el proyectista fije una vida útil de tan sólo 15 años, las soluciones posibles de firme serán las correspondientes a la categoría de tráfico inmediatamente inferior a la determinada según el procedimiento descrito en la parte 3. Si la categoría de tráfico obtenida hubiese sido la D, las soluciones para una vida útil de 15 años serán las mismas que para la vida útil de 25 años.

Para firmes provisionales se ha adoptado con carácter general una vida útil de 8 años. En el caso en que el proyectista fije una vida útil de tan sólo 3 años, las soluciones posibles de firme serán las correspondientes a la categoría de tráfico inmediatamente inferior a la determinada según el procedimiento descrito en la parte 3. Si la categoría de tráfico obtenida hubiese sido la D, las soluciones para una vida útil de 3 años serán las mismas que para la vida útil de 8 años.

C.3. FICHAS DEL CATÁLOGO

El catálogo de secciones estructurales normalizadas para pavimentos portuarios está compuesto por las siguientes tablas o fichas:

Tabla C.0	Tipología general de secciones estructurales para pavimentos portuarios recomendadas en el catálogo.
Tabla C.1.	Categorías de tráfico.
Tabla C.2.	Categorías de explanadas.
Tabla C.3.	Capas inferiores.
Tablas C.4 a C.9.	Uso comercial.
Tablas C.10 a C.11.	Uso industrial.
Tablas C.12 a C.13.	Uso militar.
Tablas C.14 a C.16.	Uso pesquero.
Tablas C.17 a C.18.	Uso deportivo.
Tablas C.19.	Firmes provisionales.

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 (donde ya se indica que los lechos de grava son una solución específica para el depósito). En cambio, en relación a las zonas destinadas al depósito de contenedores hay que considerar lo siguiente:
 - Los adoquines prefabricados de hormigón y los lechos de grava son soluciones perfectamente adaptadas a esta situación.
 - Las soluciones de pavimento de hormigón no satisfacen los requerimientos teóricos de los modelos de cálculo, por lo que existe la posibilidad de que se produzcan fisuraciones del pavimento, aunque no afecta a su funcionalidad.
 - En el caso de los pavimentos continuos de hormigón armado y de hormigón armado con fibras de acero, 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-91.

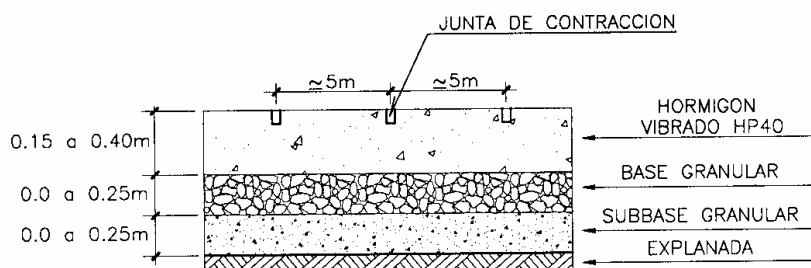
A título puramente informativo dichas soleras pueden tener espesores de 0,30 a 0,40 m, con armado tanto en la cara inferior como en la superior y cuantías de acero equivalentes a emparrillados con barras de diámetro 16-20 mm separadas unos 20 cm.

- 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 correspondientes a zonas complementarias de estacionamiento.
- En las vías de maniobra se adoptará la misma solución que en la zona con mayores requerimientos entre las comunicadas por dicha vía.

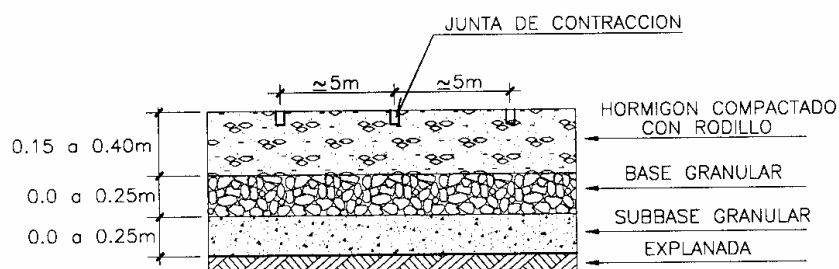
- En los viales de acceso, la solución se adoptará de acuerdo con la Instrucción 6.1 y 2 IC de secciones de firme.
- En las zonas complementarias destinadas a la circulación de vehículos las soluciones se adoptarán en general de acuerdo con la Instrucción 6.1 y 2 IC de secciones de firme. Sin embargo, 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.
- La tabla C.19., que contiene soluciones para firmes provisionales, tiene un carácter puramente orientativo. El proyectista deberá valorar cuáles son las soluciones tradicionales en el puerto.

TABLA C.0. TIPOLOGÍA GENERAL DE SECCIONES ESTRUCTURALES PARA PAVIMENTOS PORTUARIOS RECOMENDADAS EN EL CATÁLOGO.

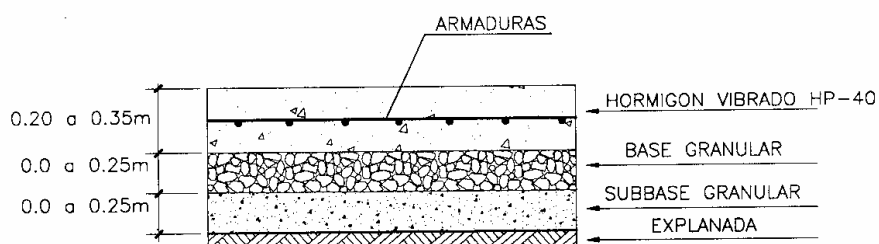
FIRMES DEFINITIVOS



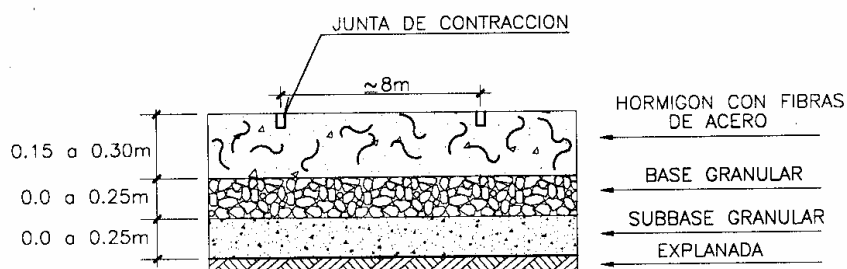
PAVIMENTO DE HORMIGON VIBRADO



PAVIMENTO DE HORMIGON COMPACTADO CON RODILLO



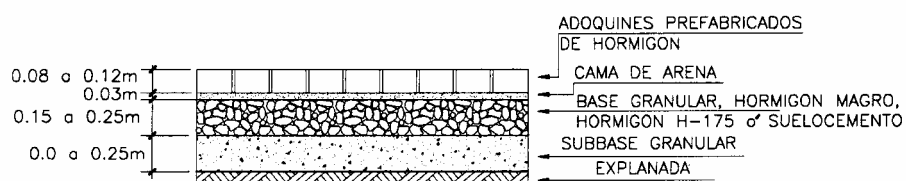
PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGON ARMADO



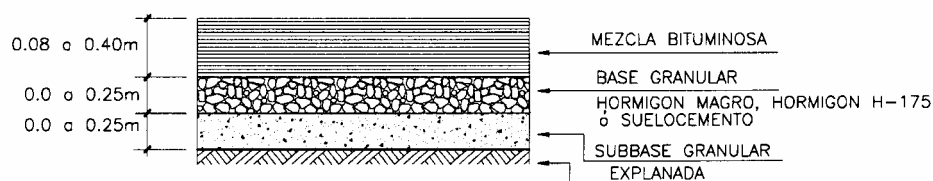
PAVIMENTO DE HORMIGON ARMADO CON FIBRAS DE ACERO

TABLA C.0. (Continuación)

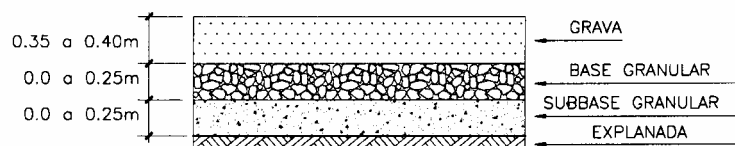
FIRMES DEFINITIVOS



PAVIMENTO DE ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGON

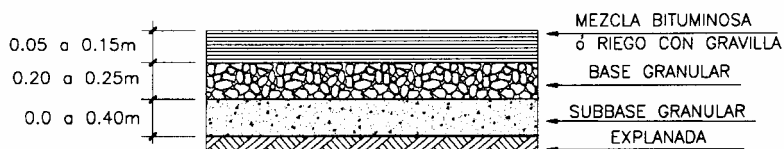


PAVIMENTOS ASFALTICOS



LECHOS DE GRAVAS

FIRMES PROVISIONALES



PAVIMENTOS ASFALTICOS

CATEGORÍAS DE TRÁFICO ⁽¹⁾				TABLA C.1.
INTENSIDAD DE USO	CARGA DE CÁLCULO			
	BAJA	MEDIA	ALTA	
REDUCIDA	D	C	B	
MEDIA	D	B	A	
ELEVADA	C	B	A	
NOTAS: (1) Excepto para viales de acceso y zonas complementarias de circulación.				

CATEGORÍAS DE EXPLANDADAS

TABLA C.2.

	RELLENO					
CORONACIÓN	MNC ⁽¹⁾	RNC ⁽¹⁾	BNC ⁽¹⁾	MC	RC	BC
Ausencia ⁽¹⁾	EO	EO	EO	EO	EO	E1
Suelos adecuados	EO	EO	EO	E1	E1	E1
Suelos seleccionados	E1	E1	E1	E1	E2	E2
Todo uno de cantera	E1	E1	E1	E2	E2	E3
Suelos selecc. con CBR>20	E1	E1	E2	E2	E3	E3

NOTAS:

(1) En estos casos se construirán firmes provisionales.

CAPAS INFERIORES			TABLA C.3.
CATEGORÍA DE EXPLANADA	SUBBASE DE ZAHORRA NATURAL	BASE DE ZAHORRA ARTIFICIAL ⁽³⁾	
EO ⁽¹⁾	0,40 m ⁽²⁾	0.25 m	
E1	0,25 m ⁽²⁾	0.25 m	
E2	-----	0.25 m	
E3	-----	-----	
<p>NOTAS:</p> <p>(1) Sólo es admisible en el caso de firmes provisionales.</p> <p>(2) Se podrán colocar hasta 0,05 m menos si la zahorra natural se sustituye por zahorra artificial.</p> <p>(3) Salvo en los casos que se indican más adelante (adoquines prefabricados de hormigon con tráficos A o B).</p>			

USO COMERCIAL		ZONAS DE OPERACIÓN		TABLA C.4.a
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HP 40 ⁽¹⁾				
TRÁFICO A 0,32 m	TRÁFICO B 0,29 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGON COMPACTADO CON RODILLO				
TRÁFICO A 0,32 m	TRÁFICO B 0,29 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
III: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGON ARMADO				
TRRÁFICO A 0,28 m	TRÁFICO B 0,25 m	TRÁFICO C 0,22 m	TRÁFICO D 0,20 m	
NOTAS: (1) En caso de emplear hormigón HP 35 se aumentará el espesor en 0,03 m.				

USO COMERCIAL		ZONAS DE OPERACIÓN		TABLA C.4.b
IV: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS DE ACERO				
TRÁFICO A 0,25 m	TRÁFICO B 0,22 m	TRÁFICO C 0,20 m	TRÁFICO D 0,18 m	
V: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGON ⁽¹⁾				
TRÁFICO A ⁽²⁾ 0,12 m	TRÁFICO B ⁽²⁾ 0,10 m	TRÁFICO C 0,10 m	TRÁFICO D 0,08 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 H-175 (0,15 m) o suelocemento (0,20 m), incluso en el caso de explanada E3.				

USO COMERCIAL		ALMACENAMIENTO DE GRANELES SÓLIDOS		TABLA C.5.a
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HP 40 ⁽¹⁾				
	TRÁFICO B 0,26 m	TRÁFICO C 0,23 m	TRÁFICO D 0,20 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO				
	TRÁFICO B 0,26 m	TRÁFICO C 0,23 m	TRÁFICO D 0,20 m	
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS DE ACERO ⁽²⁾				
	TRÁFICO B 0,20 m	TRÁFICO C 0,18 m	TRÁFICO D 0,18 m	
NOTAS: (1) En caso de emplear hormigón HP 35 se aumentará el espesor en 0,03 m. (2) Esta resolución está especialmente recomendada para zonas de almacenamiento de chatarra.				

USO COMERCIAL		ALMACENAMIENTO DE GRANELES SÓLIDOS		TABLA C.5.b
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾				
	TRÁFICO B ⁽²⁾ 0,10 m	TRÁFICO C 0,10 m	TRÁFICO D 0,08 m	
V: MEZCLAS BITUMINOSAS				
	TRÁFICO B ⁽³⁾ 0,30 m	TRÁFICO C 0,25 m	TRÁFICO D 0,20 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 H-175 (0,15 m) ó suelocemento (0,20 m), incluso en el caso de explanada E3. (3) Esta solución solo se empleará en el caso de que se pueda garantizar que los equipos de manipulación a 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.				

USO COMERCIAL		ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍA GENERAL		TABLA C.6.a
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HP 40 ⁽¹⁾				
TRÁFICO A 0,32 m	TRÁFICO B 0,29 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO				
TRÁFICO A 0,32 m	TRÁFICO B 0,29 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
III: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO				
TRÁFICO A 0,28 m	TRÁFICO B 0,25 m	TRÁFICO C 0,22 m	TRÁFICO D 0,20 m	
NOTAS: (1) En caso de emplear hormigón HP 35 se aumentará el espesor en 0,03 m.				

USO COMERCIAL		ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍA GENERAL		TABLA C.6.b
IV: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS DE ACERO				
TRÁFICO A 0,25 m	TRÁFICO B 0,22 m	TRÁFICO C 0,20 m	TRÁFICO D 0,18 m	
V: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾				
TRÁFICO A ⁽²⁾ 0,12 m	TRÁFICO B ⁽²⁾ 0,10 m	TRÁFICO C 0,10 m	TRÁFICO D 0,08 m	
VI: MEZCLAS BITUMINOSAS				
TRÁFICO A ⁽³⁾ 0,40 m	TRÁFICO B ⁽³⁾ 0,35 m	TRÁFICO C 0,30 m	TRÁFICO D 0,25 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 H-175 (0,15 m) o suelocemento (0,20 m), incluso en el caso de explanada E3. (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		TABLA C.7.a.
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HP 40 ^{(1) (2)}				
TRÁFICO A 0,35 m	TRÁFICO B 0,32 m	TRÁFICO C 0,29 m	TRÁFICO D 0,26 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO ⁽²⁾				
TRÁFICO A 0,35 m	TRÁFICO B 0,32 m	TRÁFICO C 0,29 m	TRÁFICO D 0,26 m	
III: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO				
TRÁFICO A 0,31 m	TRÁFICO B 0,28 m	TRÁFICO C 0,25 m	TRÁFICO D 0,22 m	
NOTAS: (1) En caso de emplear hormigón HP 35 se aumentará el espesor en 0,03 m. (2) 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.				

USO COMERCIAL		ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES		TABLA C.7.b.
IV: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS DE ACERO				
TRÁFICO A 0,28 m	TRÁFICO B 0,25 m	TRÁFICO C 0,22 m	TRÁFICO D 0,20 m	
V: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGON ⁽¹⁾				
TRÁFICO A ⁽²⁾ 0,12 m	TRÁFICO B ⁽²⁾ 0,10 m	TRÁFICO C 0,10 m	TRÁFICO D 0,08 m	
VI: LECHOS DE GRAVA ⁽³⁾				
TRÁFICO A 0,40 m	TRÁFICO B 0,40 m	TRÁFICO C 0,35 m	TRÁFICO D 0,35 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 debase estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón H-175 (0,15 m) o suelocemento (0,20 m), incluso en el caso de explanada E3. (3) Únicamente para el depósito de los contenedores, por lo que en las superficies de circulación debe emplearse otra solución.				

USO COMERCIAL		ESTACIONAMIENTO DE SEMIRREMOLQUES ⁽¹⁾		TABLA C.8.a.
PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HP 40 ⁽²⁾				
TRÁFICO A 0,26 m	TRÁFICO B 0,23 m			
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO				
TRÁFICO A 0,26 m	TRÁFICO B 0,23 m			
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 (tabla C.9.). (2) En caso de emplear hormigón HP 35 se aumentará el espesor en 0,03 m.				

USO COMERCIAL		ESTACIONAMIENTO DE SEMIRREMOLQUES ⁽¹⁾		TABLA C.8.b.
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS DE ACERO				
TRÁFICO A 0,20 m	TRÁFICO B 0,18 m			
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽²⁾				
TRÁFICO A ⁽³⁾ 0,10 m	TRÁFICO B ⁽³⁾ 0,08 m			
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 (Tabla C.9.). (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. (3) La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón H-175 (0,15 m) a suelocemento (0,20 m), inciuso en el caso de explanada E3.				

USO COMERCIAL		ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO		TABLA C.9 a.
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HP40 ⁽¹⁾				
TRÁFICO A 0,26 m	TRÁFICO B 0,23 m	TRÁFICO C 0,20 m	TRÁFICO D 0,20 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO				
TRÁFICO A 0,26 m	TRÁFICO B 0,23 m	TRÁFICO C 0,20 m	TRÁFICO D 0,20 m	
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN CON FIBRAS DE ACERO				
TRÁFICO A 0,20 m	TRÁFICO B 0,18 m			
NOTAS:				
1) En caso de emplear hormigón HP 35 se aumentará el espesor en 0,03 m.				

USO COMERCIAL		ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO		TABLA C.9 b.
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾				
TRÁFICO A ⁽²⁾ 0,10 m	TRÁFICO B ⁽²⁾ 0,08 m	TRÁFICO C 0,08 m	TRÁFICO D 0,08 m	
V: MEZCLAS BITUMINOSAS				
TRÁFICO A ^{(2) (3)} 0,18 m	TRÁFICO B ^{(2) (3)} 0,15 m	TRÁFICO C ^{(2) (4)} 0,12 m	TRÁFICO D ^{(2) (5)} 0,08 m	
NOTAS: 1) En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactacion 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 H-175 (0,15 m) o suelocemento (0,20 m), incluso en el caso de explanada E3. 3) El proyectista considerará la eventual sustitución de los 0,04 m superiores por un pavimento percolado del mismo espesor. 4) Mezclas bituminosas en caliente extendidas en dos capas, siendo 0,06 m el espesor de la capa superior. 5) Mezclas bituminosas abiertas en frio extendidas en dos capas de 0,04 m cada una, y con un sellado posterior de lechada bituminosa.				

USO INDUSTRIAL		ZONAS DE OPERACIÓN		TABLA C.10 a.
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HP40 ⁽¹⁾				
TRÁFICO A 0,32 m	TRÁFICO B 0,29 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO				
TRÁFICO A 0,32 m	TRÁFICO B 0,29 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
III: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO				
TRÁFICO A 0,28 m	TRÁFICO B 0,25 m	TRÁFICO C 0,22 m	TRÁFICO D 0,20 m	
NOTAS: 1) En caso de emplear hormigón HP 35 se aumentará el espesor en 0,03 m.				

USO INDUSTRIAL		ZONAS DE OPERACION		TABLA C.10 b.
IV: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS DE ACERO				
TRÁFICO A 0,25 m	TRÁFICO B 0,22 m	TRÁFICO C 0,20 m	TRÁFICO D 0,18 m	
V: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾				
TRÁFICO A ⁽²⁾ 0,12 m	TRÁFICO B ⁽²⁾ 0,10 m	TRÁFICO C 0,10 m	TRÁFICO D 0,08 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 par una capa de alguna de as siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón H-175 (0,15 m) o suelocemento (0,20 m), incluso en el caso de explanada E3.				

USO INDUSTRIAL		ZONAS DE ALMACENAMIENTO		TABLA C.11 a.
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HP 40 ⁽¹⁾				
TRÁFICO A 0,32 m	TRÁFICO B 0,29 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGÖN COMPACTADO CON RODILLO				
TRÁFICO A 0,32 m	TRÁFICO B 0,29 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
III: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO				
TRÁFICO A 0,32 m	TRÁFICO B 0,25 m	TRÁFICO C 0,22 m	TRÁFICO D 0,20 m	
NOTAS:				
1) En caso de emplear hormigón HP 35 se aumentará el espesor en 0,03 m.				

USO INDUSTRIAL		ZONAS DE ALMACENAMIENTO		TABLA C.11 b.
IV: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS DE ACERO				
TRÁFICO A 0,25 m	TRÁFICO B 0,22 m	TRÁFICO C 0,20 m	TRÁFICO D 0,18 m	
V: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾				
TRÁFICO A ⁽²⁾ 0,12 m	TRÁFICO B ⁽²⁾ 0,10 m	TRÁFICO C 0,10 m	TRÁFICO D 0,08 m	
VI: MEZCLAS BITUMINOSAS				
TRÁFICO A ⁽³⁾ 0,40 m	TRÁFICO B ⁽³⁾ 0,35 m	TRÁFICO C 0,30 m	TRÁFICO D 0,25 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 H-175 (0,15 m) o suelocemento (0,20 m), incluso en el caso de explanada E3. 3) El proyectista considerará la eventual sustitución de los 0,04 m superiores por un pavimento percolado del mismo espesor.				

USO MILITAR		ZONAS DE OPERACIÓN		TABLA C.12 a.
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HP 40 ⁽¹⁾				
TRÁFICO A 0,32 m	TRÁFICO B 0,29 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO				
TRÁFICO A 0,32 m	TRÁFICO B 0,29 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
III: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO				
TRÁFICO A 0,28 m	TRÁFICO B 0,25 m	TRÁFICO C 0,22 m	TRÁFICO D 0,20 m	
NOTAS: 1) En caso de emplear hormigón HP 35 se aumentará el espesor en 0,03 m.				

USO MILITAR		ZONAS DE OPERACIÓN		TABLA C.12 b.
IV: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS DE ACERO				
TRÁFICO A 0,25 m	TRÁFICO B 0,22 m	TRÁFICO C 0,20 m	TRÁFICO D 0,18 m	
V: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾				
TRÁFICO A ⁽²⁾ 0,12 m	TRÁFICO B ⁽²⁾ 0,10 m	TRÁFICO C 0,10 m	TRÁFICO D 0,08 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 H-175 (0,15 m) o suelocemento (0,20 m), incluso en el caso de explanada E3.				

USO MILITAR		ZONAS DE ALMACENAMIENTO		TABLA C.13 a.
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HP 40 ⁽¹⁾				
TRÁFICO A 0,29 m	TRÁFICO B 0,26 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
II: PAVIMENTO CE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO				
TRÁFICO A 0,29 m	TRÁFICO B 0,26 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO				
TRÁFICO A 0,25 m	TRÁFICO B 0,22 m	TRÁFICO C 0,22 m	TRÁFICO D 0,20 m	
NOTAS: 1) En caso de emplear hormigón HP 35 se aumentará el espesor en 0,03 m.				

USO MILITAR		ZONAS DE ALMACENAMIENTO		TABLA C.13 b.
IV: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS DE ACERO				
TRÁFICO A 0,22 m	TRÁFICO B 0,20 m	TRÁFICO C 0,20 m	TRÁFICO D 0,18 m	
V: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾				
TRÁFICO A ⁽²⁾ 0,10 m	TRÁFICO B ⁽²⁾ 0,10 m	TRÁFICO C 0,08 m	TRÁFICO D 0,08 m	
VI: MEZCLAS BITUMINOSAS				
TRÁFICO A ⁽³⁾ 0,40 m	TRÁFICO B ⁽³⁾ 0,35 m	TRÁFICO C 0,30 m	TRÁFICO D 0,25 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 H-175 (0,15 m) o suelocemento (0,20 m), incluso en el caso de explanada E3. 3) El proyectista considerará la eventual sustitución de los 0,04 m superiores por un pavimento percolado del mismo espesor.				

USO PESQUERO		ZONAS DE OPERACIÓN		TABLA C.14.a
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HP 40 ⁽¹⁾				
TRÁFICO A 0,32 m	TRÁFICO B 0,29 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO				
TRÁFICO A 0,32 m	TRÁFICO B 0,29 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
III: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO				
TRÁFICO A 0,28 m	TRÁFICO B 0,25 m	TRÁFICO C 0,22 m	TRÁFICO D 0,20m	
NOTAS: (1) En caso de emplear hormigón HP 35 se aumentará el espesor en 0,03 m.				

USO PESQUERO		ZONAS DE OPERACIÓN		TABLA C.14 b.
IV: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS DE ACERO				
TRÁFICO A 0,25 m	TRÁFICO B 0,22 m	TRÁFICO C 0,20 m	TRÁFICO D 0,18 m	
V: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾				
TRÁFICO A ⁽²⁾ 0,12 m	TRÁFICO B ⁽²⁾ 0,10 m	TRÁFICO C 0,10 m	TRÁFICO D 0,08 m	
VI: MEZCLAS BITUMINOSAS				
TRÁFICO A ⁽³⁾ 0,40 m	TRÁFICO B ⁽³⁾ 0,35 m	TRÁFICO C 0,30 m	TRÁFICO D 0,25 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: hormigdn magro (0,15 ml), hormigón H-175 (0,15 ml) o suelocemento (0,20 m), incluso en el caso de explanada E3. 3) El proyectista considerará la eventual sustitución de los 0,04 m superiores por un pavimento percolado del mismo espesor.				

USO PESQUERO		ZONAS DE CLASIFICACIÓN, PREPARACIÓN Y VENTA		TABLA C.15
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HP 40 ⁽¹⁾				
TRÁFICO A 0,29 m	TRÁFICO B 0,26 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGON COMPACTADO CON RODILLO				
TRÁFICO A 0,29 m	TRÁFICO B ⁽²⁾ 0,26 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
II: MEZCLAS BITUMINOSAS				
TRÁFICO A 0,40 m	TRÁFICO B 0,35 m	TRÁFICO C 0,30 m	TRÁFICO D 0,23 m	
NOTAS: 1) En caso de emplear hormigón HP 35 se aumentará el espesor en 0,03 m. 2) El proyectista considerará la eventual situación de los 0,04 m superiores por un pavimento percolado del mismo espesor.				

USO PESQUERO		ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO		TABLA C.16 a.
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HP 40 ⁽¹⁾				
TRÁFICO A 0,26 m	TRÁFICO B 0,23 m	TRÁFICO C 0,20 m	TRÁFICO D 0,23 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO				
TRÁFICO A 0,26 m	TRÁFICO B 0,23 m	TRÁFICO C 0,20 m	TRÁFICO D 0,20 m	
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN CON FIBRAS DE ACERO				
TRÁFICO A 0,20 m	TRÁFICO B 0,18 m			
NOTAS: 1) En caso de emplear hormigon HP 35 se aumentará el espesor en 0,03 m.				

USO PESQUERO

ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO

TABLA C.16 b.

IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN⁽¹⁾

TRÁFICO A ⁽²⁾	TRÁFICO B ⁽²⁾	TRÁFICO C	TRÁFICO D
0,10 m	0,08 m	0,08 m	0,08 m

V: MEZCLAS BITUMINOSAS

TRÁFICO A ⁽²⁾⁽³⁾	TRÁFICO B ⁽²⁾⁽³⁾	TRÁFICO C ⁽²⁾⁽⁴⁾	TRÁFICO D ⁽²⁾⁽⁵⁾
0,18 m	0,15 m	0,12 m	0,08 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 H-175 (0,15 m) o suelocemento (0,20 m), incluso en el caso de explanada E3.
- 3) El proyectista considerará la eventual sustitución de los 0,04 m superiores por un pavimento percolado del mismo espesor.
- 4) Mezclas bituminosas en caliente extendidas en dos capas, siendo 0,06 m el espesor de la capa superior.
- 5) Mezclas bituminosas abiertas en frío extendidas en dos capas de 0,04 m cada una, y con un sellado posterior de lechada bituminosa.

USO DEPORTIVO		ZONAS DE OPERACIÓN O VARADA		TABLA C.17 a.
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HP 40 ⁽¹⁾				
TRÁFICO A 0,32 m	TRÁFICO B 0,29 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO				
TRÁFICO A 0,32 m	TRÁFICO B 0,29 m	TRÁFICO C 0,26 m	TRÁFICO D 0,23 m	
III: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO				
TRÁFICO A 0,28 m	TRÁFICO B 0,25 m	TRÁFICO C 0,22 m	TRÁFICO D 0,20 m	
NOTAS:				
1) En caso de emplear hormigón HP 35 se aumentará el espesor en 0,03 m.				

USO DEPORTIVO		ZONAS DE OPERACIÓN O VARADA		TABLA C.17 b.
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾				
TRÁFICO A ⁽²⁾ 0,12 m	TRÁFICO B ⁽²⁾ 0,10 m	TRÁFICO C 0,10 m	TRÁFICO D 0,08 m	
V: MEZCLAS BITUMINOSAS				
TRÁFICO A ⁽³⁾ 0,40 m	TRÁFICO B ⁽³⁾ 0,35 m	TRÁFICO C 0,30 m	TRÁFICO D 0,25 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 H-175 (0,15 m) o suelocemento (0,20 m), incluso en el caso de explanada E3. 3) El proyectista considerará la eventual sustitución de los 0,04 m superiores por un pavimento percolado del mismo espesor.				

USO DEPORTIVO		ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO		TABLA C.18 a.
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HP 40 ⁽¹⁾				
TRÁFICO A 0,26 m	TRÁFICO B 0,23 m	TRÁFICO C 0,20 m	TRÁFICO D 0,20 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO				
TRÁFICO A 0,26 m	TRÁFICO B 0,23 m	TRÁFICO C 0,20 m	TRÁFICO D 0,20 m	
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN CON FIBRAS DE ACERO				
TRÁFICO A 0,20 m	TRÁFICO B 0,18 m			
NOTAS:				
1) En caso de emplear hormigón HP 35 se aumentará el espesor en 0,03 m.				

USO DEPORTIVO		ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO		TABLA C.18 b.
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾				
TRÁFICO A ⁽²⁾ 0,10 m	TRÁFICO B ⁽²⁾ 0,08 m	TRÁFICO C 0,08 m	TRÁFICO D 0,08 m	
V: MEZCLAS BITUMINOSAS				
TRÁFICO A ⁽²⁾⁽³⁾ 0,18 m	TRÁFICO B ⁽²⁾⁽³⁾ 0,15 m	TRÁFICO C ⁽²⁾⁽⁴⁾ 0,12 m	TRÁFICO D ⁽²⁾⁽⁵⁾ 0,08 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 H-175 (0,15 m) o suelocemento (0,20 m), incluso en el caso de explanada E3. 3) El proyectista considerará la eventual sustitución de los 0,04 m superiores por un pavimento percolado del mismo espesor. 4) Mezclas bituminosas en caliente extendidas en dos capas, siendo 0,06 m el espesor de la capa superior. 5) Mezclas bituminosas abiertas en frío extendidas en dos capas de 0,04 m cada una, y con un sellado posterior de lechada bituminosa.				

FIRMES PROVISIONALES ⁽¹⁾

TABLA C.19.

I: MEZCLAS BITUMINOSAS Y RIEGOS CON GRAVILLA

TRÁFICO A ⁽²⁾	TRÁFICO B ⁽²⁾	TRÁFICO C ⁽³⁾	TRÁFICO D
0,15 m	0,12 m	0,08 m	0,05 ⁽⁴⁾ o DTS ⁽⁵⁾

NOTAS:

- 1) Para todos los usos y zonas, siempre que las deformaciones previsibles sean compatibles con la explotación. En determinadas situaciones (por ejemplo, parques de vehículos sobre orugas) el proyectista considerará la posibilidad de no emplear ningún pavimento, funcionando como tal la base de zahorra artificial, la cual se colocaría entonces incluso sobre explanadas E3.
- 2) Mezclas bituminosas en caliente extendidas en dos capas, siendo 0,06 m el espesor de la capa superior, en la cual debe garantizarse una elevada resistencia a las deformaciones plásticas.
- 3) Mezclas bituminosas abiertas en frío extendidas en dos capas de 0,04 m cada una, y con un sellado posterior de lechada bituminosa.
- 4) Mezclas bituminosas abiertas en frío extendidas en una sola capa y con un sellado posterior de lechada bituminosa.
- 5) Riego con gravilla bicapa (doble tratamiento superficial).

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL DIMENSIONAMIENTO

ANEJO A

Índice

A.1.	INTRODUCCIÓN	163
A.2.	MÉTODOS ANALÍTICOS	163
	A.2.1. HIPÓTESIS DE BURMISTER	163
	A.2.2. HIPÓTESIS DE WESTERGAARD	164
	A.2.3. FASES DEL PROCEDIMIENTO	165
	A.2.4. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS MATERIALES Y CONDICIONES DE CONTORNO	166
	A.2.5. VERIFICACIÓN	167
A.3.	MÉTODOS EMPÍRICOS	167
A.4.	REFERENCIAS ESPECÍFICAS	168

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 solicitaciones 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 viscoelásticos. 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).

A.2.1. HIPÓTESIS DE BURMISTER

En resumen estas hipótesis son las siguientes:

- El firme se representa geométricamente como una estructura constituida por una serie de capas horizontales paralelas, indefinidas en planta y de espesor constante, apoyadas en un espacio semiindefinido 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 ordenador y de planteamiento y análisis de los resultados que requieren.
- 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.
- 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. HIPOTESIS 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 reativa, el cual viene dado por la siguiente expresión:

$$I = \left[\frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) K} \right]^{1/4}$$

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 aquélla vienen dadas por expresiones del tipo siguiente:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{Q}{h^2} f \left(\frac{I}{a} \right)$$

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 solicitaciones (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 módulo de elasticidad del macizo semiindefinido de Boussinesq se suele fijar a partir del CBR de la explanada mediante la expresión:

$$E(\text{MPa}) = 10 \cdot \text{CBR}$$

Para un macizo de Winkler los módulos de reacción que se pueden considerar son los siguientes (en base a correlaciones prácticas):

CBR = 3	K = 30 MPa/m
CBR = 5	K = 40 MPa/m
CBR = 10	K = 55 MPa/m
CBR = 20	K = 70 MPa/m
CBR = 30	K = 90 MPa/m
CBR = 100	K = 220 MPa/m

En cuanto al coeficiente de Poisson puede oscilar entre 0,35 para suelos granulares y 0,50 para los muy cohesivos.

A.2.4.2. CAPAS GRANULARES

En estos materiales el módulo de elasticidad 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 HIDRÁULICOS

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.1. CARACTERÍSTICAS ELÁSTICAS DE LAS CAPAS TRATADAS CON CONGLOMERANTES HIDRÁULICOS		
	E (MPa)	ν
Suelo mejorado con cemento	100 - 1000	0,30
Suelocemento	4000-15000	0,25
Gravacemento	15000-22500	0,25
Hormigón magro	20000 - 25000	0,20
Gravaescoria	10000-20000	0,30

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.

A.2.4.5. HORMIGONES

A los hormigones empleados en pavimentación se les puede suponer un módulo de elasticidad en torno a 30.000 MPa, con coeficiente de Poisson de 0,15 a 0,20.

A.2.4.6. 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.2.5. VERIFICACIÓN

El principal problema que presentan los métodos analíticos de dimensionamiento es el de la verificación de los mismos, es decir, la comprobación de 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 autorreparación 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 abacos 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 la capa inferior (normalmente subbase granular) del resto de las capas: se determina el espesor y las características de la subbase exclusivamente en función de la capacidad de soporte de la explanada. Esto significa que se considera la capa de subbase 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 abacos, 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 quedarán, 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. 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.

OBRAS
MARITIMAS
TECNOLOGIA



OBRAS MARITIMAS

TECNOLOGIA



Puertos del Estado



ISBN 84-88975-03-1



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

P.V.P. 5.000 PTAS.