

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 aquélla 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 zorra natural y otra capa de base de 0,25 m de zorra artificial.

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

Explanada E2: En esta situación debe extenderse una capa de base con un espesor de 0,25 m de zorra 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 zorra artificial de 0,15 m de espesor como mínimo.

En todos los casos, si no se dispone de zorras naturales se sustituirán por zorras 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 zorra 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.

