

# **ANEJO Nº 7:**

## **Dimensionamiento de** **firmes**

PROYECTO DE AMPLIACIÓN DEL PUERTO DEPORTIVO DEL  
PERELLÓ (T.M. DE SUECA). OBRAS DE URBANIZACIÓN.

---

Marcos Paricio Cabañero

## **Anejo nº 7: Dimensionamiento de firmes**

Proyecto de ampliación del puerto deportivo del Perelló (T.M. Sueca).  
Obras de urbanización.

---

### **ÍNDICE**

1. Introducción.....	Pag 3
2. Clasificación de superficies.....	Pag 3
3. Caracterización de cargas.....	Pag 3
4. Relleno y explanada.....	Pag 5
5. Selección del firme.....	Pag 7

### 1. INTRODUCCIÓN

Para la determinar qué tipo de firme que se va a disponer en el puerto deportivo, nos basaremos en la ROM 4.1-94 de Proyecto y Construcción de Pavimentos Portuarios, que a su vez nos refiere en alguno de sus apartados a las normas 6.1-IC y 6.2-IC, que tratan sobre Secciones de Firme en general. También se adoptan algunas prescripciones establecidas en el PG-3.

### 2. CLASIFICACIÓN DE SUPERFICIES

El proyecto de los firmes y pavimentos portuarios requiere una clasificación previa de las superficies, atendiendo, en primer lugar, al uso para el que están destinadas. El uso al que está dedicado este proyecto es de carácter exclusivamente deportivo, el cual puede dividirse en dos tipos de zonas, clasificación que se hace atendiendo a las operaciones que se realizan en ellas:

- Zonas de operación y varada: son las destinadas a los accesos a los muelles y adyacentes, así como las destinadas a talleres, zonas de repostaje de combustible y zonas de almacenamiento de embarcaciones.
- Zonas complementarias: las destinadas al club náutico, estacionamiento de vehículos terrestres y otros usos ligados directamente a la explotación portuaria.

De esta manera, el cada sub-zona se va a tratar y dimensionar de manera diferente a la otra, ya que presentan diferentes características de usos y de cargas.

### 3. CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS

#### a) Índice de intensidad de uso.

Da una idea de la importancia que tiene la zona estudiada dentro del uso del puerto. Se calcula de la misma forma que la indicada en las normativas 6.1-IC y 6.2-IC, "secciones de firme", pero con la diferencia de que en este caso se hace referencia al año medio de vida útil y en las normativas anteriormente citadas se hace referencia al año de puesta en servicio.

- Zonas de operación y varada: a falta de datos más concretos, se considera una intensidad REDUCIDA, con  $I_5 < 100$ .

## Anejo nº 7: Dimensionamiento de firmes

Proyecto de ampliación del puerto deportivo del Perelló (T.M. Sueca).  
Obras de urbanización.

---

- Zonas complementarias – estacionamiento: por el número de plazas de aparcamiento (19) que se va a disponer, y por la previsión de que puedan aumentar, se considera una intensidad MEDIA, de entre 10 y 100 plazas de estacionamiento.
- Zonas complementarias – circulación: analizando la intensidad media diaria de vehículos pesados al día, se observa que el único caso en que los vehículos pesados transitan por el puerto es cuando el camión cisterna realiza las operaciones de repostaje de los depósitos de la estación de servicio, o cuando se transporte por tierra una nueva embarcación hasta el puerto. Por esto, la IMDp < 25, lo que hace considerar una categoría de tráfico pesado T42, que supone una intensidad de tráfico REDUCIDA.

No se prevé que la intensidad de vehículos pesados aumente a lo largo de la vida útil del pavimento tanto como para considerar que se pase a categorías superiores de tráfico.

La ROM 4.1-94 no recoge ningún procedimiento para la construcción de zonas complementarias de circulación, por lo que para su dimensión y construcción se refiere al a norma 6.1-IC. Para la construcción de los accesos sí nos referimos a dicha forma, pero las zonas de circulación por el interior del puerto, por el hecho de presentar una intensidad media de vehículos pesados muy reducida, se van a construir de la misma forma que las zonas de estacionamiento.

### **b) Carga de cálculo.**

- Zonas de operación y varada: por falta de datos más concretos, se considera una carga de cálculo MEDIA, por tener barcos de eslora mayor de 6 metros. No se considera necesario tener en cuenta el aumento de las cargas de cálculo cuando se den situaciones extraordinarias.
- Zonas complementarias – estacionamiento: como la destinación de las plazas de estacionamiento es básicamente para vehículos ligeros, se considera una carga de cálculo BAJA.
- Zonas complementarias – circulación: la carga de cálculo es la correspondiente al vehículo pesado con semiejes de ruedas gemelas con cargas de 65 kN y presiones no superiores a 0,9 MPa. La estimación de la carga de cálculo se realiza según la instrucción 6.1-IC, haciendo referencia a las intensidades medias diarias de vehículos pesados, por lo que según se indica en dicha normativa, no procede hallar la carga de cálculo en este caso.

## Anejo nº 7: Dimensionamiento de firmes

Proyecto de ampliación del puerto deportivo del Perelló (T.M. Sueca).  
Obras de urbanización.

De la misma manera que se ha explicado en el apartado de la intensidad de uso, los viales de acceso sí se dimensionarán según la norma 6.1-IC, pero los viales de circulación del interior del puerto se construirán con la misma sección que las zonas de estacionamiento.

### c) Categoría de tráfico.

Según la tabla 3.3 de la ROM 4.1-94 “Recomendaciones para proyectar y construir Pavimentos Portuarios”, la categoría de tráfico a adoptar es la siguiente:

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
NOTA: * Excepto para viales de acceso y zonas complementarias de circulación.			

#### Zonas de operación y varada:

Intensidad de uso REDUCIDA }  
Carga de cálculo MEDIA } Categoría de tráfico C

Zonas complementarias: no se puede definir la categoría de tráfico según la ROM 4.1-94, sino que para su cálculo nos tenemos que referir a la instrucción 6.1-IC y 6.2-IC y al año medio de vida útil. Por esto, la categoría de tráfico es T42 (IMDp < 25).

## 4. RELLENO Y EXPLANADA

Tras la colocación de los bloques de hormigón que conforman el nuevo muelle, y tras la colocación del relleno filtrante en su trasdós, todavía tenemos un cierto volumen que debemos ocupar para poder disponer de una superficie más o menos plana sobre la que construir el pavimento. De esta manera, nos vamos a encontrar con dos zonas distintas: una con nuevo relleno, que será la más cercana a los bloques de

## Anejo nº 7: Dimensionamiento de firmes

Proyecto de ampliación del puerto deportivo del Perelló (T.M. Sueca).  
Obras de urbanización.

---

hormigón; y la otra en la que permanece el relleno antiguo, que no ha sido necesario retirar para colocar los bloques. En el plano “Firmes. Rellenos y explanada” puede observarse un croquis de la sección, en el que se aprecia la disposición de los diferentes rellenos.

Adicionalmente, además de la demolición del pavimento existente, se va a retirar un espesor de 1 metro, el cual va a estar ocupado por la última capa del relleno y que formará la explanada. De esta manera, en toda la superficie va a existir un aporte de material, ya sea en mayor o menor cantidad. Este aporte se va a realizar en todo momento por vertido directo, denominación que alude a la forma mediante la cual se incorpora el nuevo material, que se realizará con material procedente de cantera y con medios terrestres. La colocación de esta última capa puede observarse en el plano “Firmes. Rellenos y explanada”.

El nuevo relleno se ejecutará colocando *todo uno* de cantera, que está compuesto por material sin clasificar, es decir, cuya granulometría no se ha controlado y que incluye tamaños de partículas bastante variados. Este tipo de rellenos es muy utilizado en rellenos de trasdós cuando el muelle es de cajones o de bloques, como en el caso que se estudia en este documento. El relleno del último metro de espesor es el que sirve para la materialización de la explanada, aspecto del que se habla más adelante.

En el caso de las zonas con relleno antiguo, será necesario demoler el firme y retirar el material necesario hasta alcanzar la cota a la que se va a ubicar la nueva explanada. Adicionalmente, se va a eliminar un espesor de un metro en toda la superficie de zona seca, el cual va a servir para la construcción de la explanada, que proporcionará una buena base resistente sobre la que colocar el pavimento y que regularice la superficie.

Como ya se ha indicado en los dos párrafos anteriores, la construcción de la explanada, o capa de coronación, va a ocupar el último metro de espesor del relleno. Para ello, se utiliza el mismo material que se ha añadido en los rellenos genéricos, es decir, *todo uno* de cantera. Sin embargo, hay unos condicionantes que se deben tener en cuenta en la ejecución de esta capa:

- El relleno debe extenderse en varias tongadas de no más de 40 cm de espesor cada una.
- En estas tongadas, se deben eliminar los bloques con un tamaño mayor al 50% del espesor de dichas tongadas.
- En ningún caso habrá partículas de tamaños mayores de 20 cm.
- Excepto en cuanto a las exigencias de granulometría, el *todo uno* colocado debe cumplir las exigencias específicas de las zahorras naturales.

## Anejo nº 7: Dimensionamiento de firmes

Proyecto de ampliación del puerto deportivo del Perelló (T.M. Sueca).  
Obras de urbanización.

---

No se considera la aplicación de métodos de compactación, ni en el caso del relleno general de nueva colocación ni en la creación de la explanada, ya que se considera que su propio peso y el paso de la maquinaria serán suficientes para conseguir que se compacte lo necesario. Se considera que el relleno actual está lo suficientemente consolidado.

A continuación, se define la categoría de la explanada, para lo que se debe tener en cuenta la naturaleza del relleno y su grado de consolidación, y el material colocado en la coronación (ROM 4.1-94, Tabla 4.2):

- |                                  |                      |
|----------------------------------|----------------------|
| ○ Relleno bueno consolidado (BC) | } Tipo de explanada: |
| ○ Explanada con <i>todo uno</i>  |                      |

El resultado obtenido no debe tomarse como definitivo, ya que no se puede olvidar el carácter orientativo, y no normativo, que tienen todas las ROM. Se debe verificar a pie de obra que las suposiciones hechas son válidas mediante la comprobación de que se superan los valores mínimos exigidos por el módulo de compresibilidad E2 obtenido en el segundo ciclo de carga, y la relación E2/E1 donde E1 es el valor obtenido para el módulo de compresibilidad en el primer ciclo. Dichos resultados se obtienen tras la realización de los ensayos correspondientes de placa de carga.

Valores mínimos (ROM 4.1-94, Tabla 4.3):

Explanada E3: - E2 mínimo = 55 MPa  
- E2/E1 máximo = 2,0

### 5. SELECCIÓN DEL FIRME

Para la elección de una sección tipo en el firme, se deben tener en cuenta múltiples aspectos, algunos de los cuales se exponen a continuación:

- Uso del puerto, en este caso exclusivamente deportivo
- Selección de zonas: se distinguen tres zonas distintas, de manera que en cada una de ellas se va a disponer un pavimento diferente.
  - Zona de varada: aquellas en las que se van a realizar operaciones de almacenamiento y movimiento de embarcaciones, talleres y estaciones de servicio.

## Anejo nº 7: Dimensionamiento de firmes

Proyecto de ampliación del puerto deportivo del Perelló (T.M. Sueca).  
Obras de urbanización.

---

- Zona de estacionamiento y circulación: destinada al uso de los peatones, tránsito y estacionamiento de vehículos terrestres, y otras actividades ligadas con la explotación del servicio portuario.
- Zonas de acceso: aunque se vayan a construir empleando hormigón armado, como las zonas de varada, la ROM 4.1-94 no nos indica un procedimiento para su cálculo, si no que debemos referirnos a la norma 6.1 IC para su dimensionamiento.
- Carga de cálculo: se considera carga MEDIA en la zona de varada y carga BAJA en las superficies de estacionamiento y circulación.
- Equipos de manipulación: carretilla elevadora de 10 toneladas de capacidad sobre neumáticos, grúa fija de 12 toneladas de capacidad de elevación. Todos trabajan en la zona de varada.
- Características de relleno: de vertido directo con medios terrestres, utilizando todo uno de cantera. En la coronación, utilización de todo uno de cantera con tamaño máximo de 20 cm.
- Categoría de explanada: E3.
- Vida útil del firme: se ha considerado de 15 años.

Según los condicionantes expuestos anteriormente, se opta por la colocación de dos tipos diferentes de pavimentos: hormigón armado y adoquines de hormigón. La colocación y distribución en superficie de cada tipo se observa en el plano “Firmes. Distribución de pavimentos”.

A continuación, se particularizan las características, exigencias y requisitos de cada uno de los tipos de pavimentos individualmente, añadiéndose también un croquis de la sección tipo.

### 5.1. Pavimento continuo de hormigón armado

El pavimento de hormigón armado se va a colocar en las zonas de los alrededores de los talleres y de la estación de servicio, debido a que son zonas en las que muy posiblemente haya vertidos de aceites, carburantes, pinturas y otros agentes contaminantes, por lo que se opta por un pavimento impermeable que desaloje estos residuos por un sistema de drenaje adecuado. Además, la elevada rigidez que presenta este material lo hace más adecuado para trabajar en zonas donde va a soportar elevadas cargas.



## Anejo nº 7: Dimensionamiento de firmes

Proyecto de ampliación del puerto deportivo del Perelló (T.M. Sueca).  
Obras de urbanización.

---

Según la tabla C.3. del “Catálogo con secciones estructurales normalizadas” de la ROM 4.1-94, no será necesario colocar capas de base y sub-base sobre la explanada antes de colocar el pavimento.

En cuanto a las características exigidas al hormigón, se requiere que el principio del fraguado no comience antes de las 2 horas, aunque en caso de tener temperaturas ambiente superior a 25º, esta limitación se reduce hasta la hora.

Refiriéndonos a las exigencias sobre los áridos, su tamaño máximo no superará los 40 mm. El árido grueso estará formado por al menos tres tamaños diferentes, de manera que cada uno de dichos tamaños se encuentre dentro de los siguientes husos: 5 a 12 mm, 12 a 25 mm y 25 a 40 mm. El equivalente de arena del árido fino no será inferior a 80, y la cantidad máxima de partículas silíceas en el árido fino será del 30%.

El hormigón a emplear será tipo HF-4,0 (hormigón para firmes con resistencia a flexotracción a los 28 días de 4 MPa). El asiento en el ensayo del cono de Abrams no será menor de 0,02 m ni superior a 0,06 m. El contenido mínimo de cemento será de 300 kg/m<sup>3</sup> de hormigón fresco, con una relación agua/cemento máxima de 0,50. Se fabricará en central y se controlará que la temperatura del hormigón fresco no sea nunca superior a 30º.

Una vez colocado el hormigón, y antes de que empiece a fraguar, se debe darle al hormigón una rugosidad suficiente para que proporcione una buena adherencia, algo que podemos conseguir con el uso de una arpillera. Después se realizarán las operaciones de curado, que consistirán en la aplicación de una capa de base parafínica para su protección mediante pulverización uniforme y continua, con una dotación aproximada de 0,250 kg/m<sup>2</sup>. Esta dotación podrá ser variada por la Dirección de Obra si considera que las condiciones atmosféricas así lo exigen.

Las armaduras serán en general barras corrugadas de acero B 500 S o B 500 SD, que se colocarán con una cuantía geométrica del 0,6%. Se emplearán barras de diámetro 20 mm para la dirección longitudinal, y de 12 mm para la armadura de reparto. Siempre se colocan en el centro de la sección.

En los 2 metros más cercanos hacia la orilla, se le da una pendiente del 1% al pavimento en dirección hacia el mar, con el fin de contribuir a un mejor desalojo de aguas pluviales y que no se produzca encharcamiento en el interior de la superficie de hormigón armado.

El tráfico de la obra no se permitirá que circule sobre el pavimento hasta pasados 3 días, o bien hasta que haya adquirido un valor igual o superior al 80% de su resistencia característica, en este caso 3,2 MPa.

En resumen, el pavimento de hormigón armado quedará definido geométricamente de la siguiente forma:

## Anejo nº 7: Dimensionamiento de firmes

Proyecto de ampliación del puerto deportivo del Perelló (T.M. Sueca).  
Obras de urbanización.

---

- Hormigón vibrado HF-4.0, de 22 cm de espesor.
- Armaduras: acero B 500 S
  - Principal:  $\varnothing 20/0,18 = 5$  barras/m<sup>2</sup>
  - Reparto:  $\varnothing 12/0,10 = 10$  barras/m<sup>2</sup>
- Explanada: *todo uno*, 1 metro de espesor.

En el plano “Firmes. Secciones tipo” se incluyen secciones tipo y detalles del pavimento de hormigón armado que se va a disponer en las inmediaciones de los talleres y en la explanada de la estación de servicio.

### 5.2. Pavimento de adoquines prefabricados de hormigón.

Esta tipología de pavimento es la que se coloca en las zonas complementarias de circulación y estacionamiento, de manera que es el que se observa en las zonas cercanas al club náutico y en el área de la zona de ampliación futura, más cercana hacia la compuerta de la gola. La elección de este tipo de pavimento es debido principalmente a su aspecto estético combinado con una buena resistencia para el soporte de cargas.

La amplia gama de piezas de las que se dispone en el mercado permite la creación de innumerables acabados, combinando piezas de diferentes formas, tamaños y colores. Además, son capaces de soportar cargas de vehículos pesados, permitiendo un pequeño reajuste por asiento del terreno bajo ellos. También tienen una buena durabilidad y resistencia a abrasión, es poco ruidoso con tráfico lento (como el del interior del puerto), presenta un mantenimiento sencillo (para su limpieza basta con utilizar agua y jabón) y una gran facilidad de reparación (es suficiente con extraer la pieza dañada y colocar una nueva, de manera que no se interrumpe el tráfico y se puede poner en uso casi inmediatamente después de haber sustituido el adoquín).

Otra de sus características principales es la elevada permeabilidad, de manera que los líquidos que se vierten sobre el pavimento se desalojan rápidamente por los huecos existentes entre adoquines. Esta puede ser una propiedad muy interesante en algunos casos, pero que nos hace descartar el uso de este tipo de pavimento en las zonas de talleres y estación de servicio, ya que son zonas en las que son típicos los vertidos de contaminantes, como aceites, grasas, carburantes, pinturas,...

La arena de la capa de nivelación tendrá un tamaño máximo no superior a 5 mm, con menos del 15% de partículas de tamaño superior a 2,5 mm y una proporción de finos menor del 5%. Para el relleno de las juntas se emplea arena con tamaño máximo no superior a 2,5 mm y una cantidad de finos que no alcance el 15%.

## Anejo nº 7: Dimensionamiento de firmes

Proyecto de ampliación del puerto deportivo del Perelló (T.M. Sueca).  
Obras de urbanización.

---

La capa de nivelación de arena debe dejarse inicialmente 15 mm por encima de su rasante definitiva. Tras la compactación del adoquinado, el espesor de dicha capa tendrá que ser de 3 cm. Tras la primera compactación del adoquinado mediante elementos vibratorios, se procede al relleno de las juntas, tras lo cual se aplicará un segundo ciclo de compactación. La arena sobrante de las juntas se elimina mediante cepillado.

Los adoquines deben tener una resistencia mínima a compresión de 50 MPa y las tolerancias admitidas son de  $\pm 0,002$  m en cuanto a dimensiones en planta se refiere, y  $\pm 0,003$  m en cuanto al espesor se refiere. Las variaciones de cota o las transiciones entre unas y otras alturas se solucionarán mediante la variación del espesor de la capa de nivelación.

En resumen, el pavimento de adoquines prefabricados de hormigón quedará definido de la siguiente manera:

- Adoquines de hormigón: 10 cm de espesor.
- Cama de arena de nivelación: espesor variable en función de la cota. Normalmente, espesor de 3 mm.
- Explanada: *todo uno*, 1 metro de espesor.

En el plano “Firmes. Secciones tipo” se incluyen secciones tipo y detalles del pavimento de adoquines prefabricados de hormigón, que se va a disponer en las zonas de tránsito general del puerto.

### 5.3. Viales de acceso

Como ya se ha explicado anteriormente, la ROM 4.1-94 no indica un procedimiento a seguir para el dimensionamiento de estas superficies, sino que nos refiere a la norma general de secciones de firme, la 6.1 IC. En este apartado se van a dimensionar los accesos, superficie no muy extensa, pero sí de considerable importancia como para dedicarle un apartado específico.

El primer paso es analizar el tráfico pesado, algo que ya se ha hecho en el apartado “3.a) Intensidad de tráfico” en el que se ha determinado una  $IMD_p < 25$ , lo cual supone un tráfico de nomenclatura T42.

La explanada se construye de igual manera a como se ha hecho en los apartados anteriores, es decir, colocando una capa de 1 metro de *todo uno* de cantera, la cual tampoco será necesario que se compacte específicamente, ya que lo hará de manera suficiente con el único paso de la maquinaria por encima.

De esta manera, tras la creación de la explanada, solo falta colocar una capa de hormigón especial para firmes para tener construido el pavimento. Esta capa de tendrá

## Anejo nº 7: Dimensionamiento de firmes

Proyecto de ampliación del puerto deportivo del Perelló (T.M. Sueca).  
Obras de urbanización.

---

un espesor de 18 cm, y estará compuesta por hormigón HF-4,0. Este hormigón debe cumplir las especificaciones recogidas en el Art. 550 del PG-3.

La sección tendrá el bombeo típico de las secciones de carretera, con el fin de poder desalojar el agua correctamente y evitar el encharcamiento en la medida de lo posible.

Nuevamente, se colocarán armaduras en la misma proporción que la dispuesta en el pavimento de talleres y explanada de estación de servicio (cuantía geométrica mínima del 0,6%).

En resumen, de las zonas de acceso, que se resuelve colocando pavimento de hormigón armado sin junta, tiene las siguientes características:

- Hormigón: HF – 4,0 ; 18 cm de espesor.
- Armaduras: acero B500 S
  - Principal:  $\varnothing 20/0,18 \approx 5$  barras/m<sup>2</sup>
  - Reparto:  $\varnothing 12/0,10 \approx 10$  barras/m<sup>2</sup>
- Bombeo: pendiente 2%, a dos aguas.
- Explanada: *todo uno*, 1 metro de espesor.