

ANEJO 19

ESTUDIO DEL TRÁFICO Y DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES



ÍNDICE GENERAL

1. OBJETO	4
2. USOS DE LAS SUPERFICIES TERRESTRES PORTUARIAS	5
3. CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS	7
3.1. ESTUDIO DE CARGAS	7
3.2. ÍNDICES DE INTENSIDAD DE USO	8
3.3. CARGAS DE CÁLCULO SEGÚN EL USO	9
3.4. INTENSIDAD DE USO	12
3.5. CATEGORÍAS DE TRÁFICO	13
4. RELLENOS Y EXPLANADAS	15
4.1. RELLENOS	15
4.2. EXPLANADAS	17
5. MATERIALES PARA FIRMES Y PAVIMENTOS	20
6. DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES PORTUARIOS	21
7. ELECCIÓN DEL TIPO DE FIRME	22
8. SECCIONES	28



ÍNDICE IMÁGENES

1. Figura 1. Clasificación de las superficies terrestres	5
2. Figura 2. Cargas y presiones de los equipos de manipulación en las peores condiciones de trabajo	11
3. Figura 3. Categorías de tráfico	13
4. Figura 4. Clasificación de los rellenos portuarios	16
5. Figura 5. Categorías de explanadas	19
6. Figura 6. Capas inferiores	23
7. Figura 7. Uso deportivo. Zona de operación o varada	24
8. Figura 8. Uso deportivo. Zonas complementarias. Estacionamiento	25
9. Figura 9. Pavimento de hormigón armado. Sección tipo	26
10. Figura 10. Pavimento de adoquines prefabricados de hormigón. Sección tipo	27

ÍNDICE TABLAS Y GRÁFICAS

1. Tabla 1. Categorías de tráfico	13
2. Tabla 2. Categorías de tráfico por zonas	13
3. Tabla 3. Características de la explanada	19



1. OBJETO

El objetivo del presente anejo es determinar las secciones de firme de las distintas zonas que existirán en el Puerto Deportivo tras su ampliación. Para la realización de este anejo se han tomado las directrices expuestas en la *ROM 4.1-94 "Recomendaciones para el proyecto y construcción de pavimentos portuarios"* y la *Instrucción de Carreteras Norma 6.1 IC y Norma 6.2 IC*.

A continuación, se expondrán las distintas clasificaciones que establece la *ROM 4.1-94* y a lo largo del anejo se tratará la metodología a emplear para la selección de los firmes adecuados dependiendo de distintos factores como son el uso al que vayan a estar expuestos, las cargas que deberán soportar o el tráfico previsto.



2. USOS DE LAS SUPERFICIES TERRESTRES PORTUARIAS

La *ROM 4.1-94* establece una clasificación de las superficies terrestres para el proyecto de los firmes y pavimentos portuarios que depende, en primer lugar, del 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.

Puesto que en el Puerto de Oliva tan sólo se realizan actividades relacionadas con la náutica deportiva y en muy poca medida con la pesca de bajura, y que la ampliación proyectada está destinada únicamente a la mejora y nueva construcción de servicios deportivos, nos centraremos únicamente en la clasificación que la *ROM 4.1-94* establece para el uso deportivo o de recreo.

En la *Tabla 2.1 de la ROM 4.1-94* se resume la clasificación de las superficies terrestres portuarias realizada de acuerdo con lo que se establece en la *ROM 0.2-90*. A continuación, en la *Figura 1*, se muestra una parte de esta tabla, en la que solamente aparece la clasificación correspondiente al uso deportivo o de recreo.

DEPORTIVO O DE RECREO	OPERACIÓN O VARADA	Grandes embarcaciones Pequeñas embarcaciones
	COMPLEMENTARIAS	Circulación Estacionamiento

Figura 1. Clasificación de las superficies terrestres. Fuente: ROM 4.1-94

➤ 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:

▪ Zonas de operación o varada

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



- **Zonas complementarias**

Destinadas al club náutico, comercios, etc. Incluyen las zonas de estacionamiento de vehículos y los edificios ligados directamente a la explotación portuaria. Además comprende los viales de circulación que conectan las diversas zonas del puerto entre sí.



3. CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS

La *ROM 4.1-94* clasifica las cargas actuantes en cada una de las distintas zonas nombradas en el apartado anterior (operación o varada, almacenamiento, vías de comunicación, etc.). En primer lugar se clasifican por sus 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

La *ROM 4.1-94* establece tres grupos de cargas a considerar para la caracterización de las cargas en las superficies portuarias. 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 de tráfico pesado convencional (vehículos de carretera).

➤ 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, 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, en nuestro caso, embarcaciones.
- Forma de presentación.
- Forma y dimensiones.
- Cantidad máxima que puede manipularse.
- Métodos y equipos de manipulación.

Estas cargas se consideran verticales y concentradas, y son cargas cuya actuación no supone aceleraciones significativas en los firmes.



➤ **CARGAS DE EQUIPOS E INSTALACIONES DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS:**

Estas cargas son cargas transmitidas al pavimento por los sistemas y equipos de manipulación. A 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.

Cabe destacar que la existencia de esfuerzos horizontales importantes, tales como frenazos, giros y/o aceleraciones, no se consideran para el dimensionamiento estructural de los firmes, sin embargo si se tendrán en cuenta para la determinación de las características en las capas superficiales de los pavimentos.

➤ **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 deportivas, circulando sin restricciones. Se emplean normalmente para dejar en seco y poner en flotación barcos entre 200 y 2.000 KN de desplazamiento. Se denominan usualmente elevadores marinos o pórticos elevadores (Travelifts).

➤ **CARGAS DE 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 3 t, de más de 4 ruedas y sin remolque; los camiones con uno o varios remolques; los vehículos articulados y los vehículos especiales; y los vehículos dedicados al transporte de personas con más de 9 plazas.

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

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 pudieran producir en un firme.

Para evaluar la intensidad de uso se ha recurrido a establecer una serie de *Índices de Explotación Portuaria*. Estos índices se han de calcular en función de la actividad del puerto y se refieren a una determinada magnitud de explotación. En el caso de los viales de acceso se ha de recurrir a la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp) en el año medio de la vida útil.

En el presente proyecto nos centraremos únicamente en el uso deportivo o de recreo de la instalación portuaria.

➤ **USO DEPORTIVO:**

▪ **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_s (nº).

▪ **Zonas complementarias. Circulación**

De manera análoga, pero no idéntica, a como se considera en la *Instrucción de Carreteras Norma 6.1 IC y Norma 6.2 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, aunque en la citada instrucción se hace referencia al año de la puesta en servicio.

▪ **Zonas complementarias. Estacionamiento**

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

3.3. Cargas de cálculo según el uso

La *ROM 4.1-94* clasifica los valores de las cargas aplicadas para que se 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. Cabe destacar que el hecho de que, en una situación particular, una carga de tráfico esté clasificada de la misma manera que otra que se encuentra en una situación distinta, no implica que estas sean necesariamente equivalentes. Por tanto, la clasificación de la carga de cálculo y en consecuencia la categoría de tráfico, 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, y cargas de manipulación, que hacen referencia a las cargas de los equipos o vehículos de manipulación de mercancías, en nuestro caso, en el que solamente se considera el uso deportivo, estaremos hablando de cargas producidas por los equipos de elevación de embarcaciones. 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.

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.

➤ **ZONA DEPORTIVA:**

▪ **Zonas de operación o varada**

○ **Carga de cálculo de almacenamiento**

Como no se dispone de datos precisos que permitan realizar la clasificación en función de las cargas (Q_v) y de las presiones (p_v) que se transmiten al pavimento en cada caso se ha optado por realizar la clasificación según el tipo de embarcaciones deportivas a las que da servicio la dársena. La ROM 4.1-94 realiza la siguiente clasificación:

- **BAJA:** Exclusivamente embarcaciones con menos de 6 m de eslora.
- **MEDIA:** Embarcaciones de cualquier eslora.

Puesto que el Puerto Deportivo de “La Goleta” dará servicio tras la ampliación a embarcaciones de hasta 15 metros de eslora, la carga de cálculo de almacenamiento se clasifica como **MEDIA**.

○ **Carga de cálculo de manipulación o de elevación de embarcaciones**

Depende de los equipos previstos y por tanto de las cargas (Q_v) y de las presiones (p_v) que se 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:** $120 \text{ KN} < Q_v < 700 \text{ KN}$ o bien $1,1 \text{ MPa} < p_v < 1,5 \text{ MPa}$.
- **ALTA:** $Q_v > 700 \text{ KN}$ y $p_v > 1,5 \text{ MPa}$, simultáneamente.

En el caso del Puerto Deportivo de Oliva, en la zona de varada y reparaciones, donde estará ubicada la futura marina seca, tenemos una grúa de 5t y además trabajará un Fork Lift que almacenará las embarcaciones en la marina seca y las bateará en el caso de que los usuarios lo soliciten. Como podemos ver en la *Figura 2*, correspondiente a la *Tabla 3.2* de la ROM 4.1-94, Q_v



será menor de 120 kN y p_v será menor de 1.1 MPa, por tanto vamos a tomar una carga de cálculo de manipulación **BAJA**.

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

Figura 2. Cargas y presiones de los equipos de manipulación en las peores condiciones de trabajo.
Fuente: ROM 4.1-94

▪ Zonas complementarias. Circulación

La carga de cálculo es la correspondiente al vehículo pesado de carretera con el sentido dado *Instrucción de Carreteras Norma 6.1 IC y Norma 6.2 IC de secciones de firme*: semiejes con ruedas gemelas con cargas de 65 kN y presiones no superiores en general a 0.9 MPa. Tal como se determina la categoría de tráfico en la citada Instrucción (según intensidades medias diarias de vehículos pesados) no procede en este caso la clasificación de la carga de cálculo.

▪ 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

En nuestro caso, suponemos que los estacionamientos del puerto serán utilizados principalmente por vehículos ligeros propios de los usuarios del puerto y los socios del Club



Náutico. Sin embargo, es necesario contemplar el posible estacionamiento de algunos vehículos pesados como pueden ser los camiones encargados de abastecer de combustible a la estación o los camiones de los proveedores que dotan al Club Náutico y al puerto de los suministros necesarios. Por lo tanto, tras lo expuesto anteriormente, podemos admitir que estamos ante una carga de cálculo **MEDIA**.

3.4. Intensidad de uso

En este apartado se analizan y clasifican los índices de explotación portuaria representativos de la intensidad de uso para que se 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*. 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**.

➤ **USO DEPORTIVO:**

▪ **Zonas de operación o varada**

A falta de datos, la intensidad de uso en la zona de operación y varada se tomará como **MEDIA**.

▪ **Zonas complementarias. Circulación**

La clasificación de las intensidades medias diarias de vehículos pesados es la establecida en la *Instrucción de Carreteras Norma 6.1 IC y Norma 6.2 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.

En ausencia de estudios de tráfico es necesario recurrir a ciertas estimaciones habituales en obras de características similares. La primera de ellas considera que el $IMD_p < 25$ vehículos pesados/día puesto que se trata de una zona de tráfico restringido que da servicio únicamente a las actividades que se realizan en el interior del puerto, asociadas principalmente a la náutica y de manera mucho más secundaria a la pesca, como pueden ser camionetas de reparto, de recambios y de suministro de carburante. La segunda, en relación con lo dicho anteriormente, estima que no se tendrán en cuenta aumentos de tráfico pesado durante la vida útil del proyecto.

Tras lo expuesto anteriormente y según la *Tabla 1.B. "Categorías de tráfico pesado T3 y T4"* de la *Norma 6.1 IC y Norma 6.2 IC*, el tráfico pesado se clasifica como del tipo T42, por lo tanto



podemos afirmar que estamos ante un tráfico ligero. Debido a ello, la intensidad de uso en la zona de circulación del puerto será **REDUCIDA**.

▪ Zonas complementarias. Estacionamiento

Se establece la siguiente clasificación de la intensidad de uso en función del número de plazas de aparcamiento:

- 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.

En el Puerto Deportivo de Oliva, las plazas de aparcamiento suman un total de 290 por lo que la intensidad de uso del estacionamiento recibe la clasificación de **ELEVADA**.

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.

Categorías de tráfico	
Trafico muy pesado	A
Tráfico pesado	B
Tráfico medio	C
Tráfico ligero	D

Tabla 1. Categorías de tráfico. Fuente: ROM 4.1-94

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 de Carreteras Norma 6.1 IC y Norma 6.2 IC de secciones de firme*. En la *Figura 3*, correspondiente a la *Tabla 3.3* de la ROM 4.1-94, 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.

Atendiendo a lo expuesto en la *Figura 3*, la cual se muestra en la siguiente página, tenemos la siguiente clasificación del tráfico para las distintas zonas de uso deportivo del puerto:

Zonas	Categoría de tráfico
Zonas de operación o varada	B Tráfico pesado
Zonas complementarias. Estacionamiento	B Tráfico pesado
Zonas complementarias. Circulación	(*) T41 Tráfico ligero

(*) Obtenida con la Norma 6.1 IC Y 6.2 IC

Tabla 2. Categorías de tráfico por zonas. Fuente: ROM 4.1-94



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.			

Figura 3. Categorías de tráfico. Fuente: ROM 4.1-94



4. RELLENOS Y EXPLANADAS

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 obras portuarias el apoyo está en general constituido por un relleno situado total o parcialmente bajo el nivel del mar, situado a su vez sobre unos fondos marinos de calidad muy variable.

En pavimentación portuaria se distingue entre el fondo, el relleno y la coronación. 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, pudiendo tratarse por tanto incluso de materiales procedentes del dragado. Finalmente, la coronación es a menudo inexistente, aunque se recomienda la utilización de materiales de una cierta calidad, de espesor suficiente y debidamente compactados.

4.1. Rellenos

Los rellenos portuarios pueden clasificarse en dos grandes grupos: hidráulicos y de vertido directo. La clasificación se recoge en la *Tabla 4.1* de la *ROM 4.1-94*, correspondiente a la *Figura 4* en este documento.

➤ RELLENOS HIDRÁULICOS:

Los rellenos hidráulicos, son rellenos conseguidos mediante un proceso de sedimentación de partículas sólidas contenidas en un volumen de material procedente de un dragado. Dicho material se caracteriza por su alto contenido en partículas sólidas en suspensión.

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 asentos y sus deficiencias de capacidad soporte son más debidas a los fondos que a los propios rellenos.

Según su contenido en finos, los rellenos hidráulicos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Contenido en finos inferior al 10%. Dan buenos rellenos y se mantiene la superficie con pocas irregularidades para evitar acumulaciones de limos y arcillas.



- Contenido en finos entre el 10% y el 35%. Rellenos muy comprensibles, pero cuya consolidación se puede acelerar intercalando capas de arena
- Contenido en finos superior al 35%. Rellenos blandos y muy comprensibles, de difícil y lenta consolidación.

➤ **RELLENOS DE VERTIDO DIRECTO:**

El nombre de este tipo de relleno proviene de la forma de ejecutarlo. En este caso, el vertido se realiza mediante gánguiles desde tierra. Un caso particular lo constituyen los rellenos realizados mediante vertido por fondo mediante gánguiles de charnelas.

Según los materiales utilizados se pueden distinguir los siguientes tipos:

- Rellenos con materiales terrestres: Productos obtenidos de préstamos terrestres como la excavación de desmontes, obras subterráneas o cimentaciones; así como de obras de dragados de la explotación de canteras u otros yacimientos.
 - Rellenos granulares
 - Rellenos cohesivos
 - Pedraplenes limpios o escolleras de granulometría abierta
 - Pedraplenes sucios o escolleras de granulometría cerrada
- Rellenos antrópicos y no convencionales: Productos de desecho: escombros y residuos sólidos urbanos fundamentalmente. Son una opción adecuada cuando no existe la posibilidad de conseguir con un coste razonable otros materiales de relleno.

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

Figura 4. Clasificación de los rellenos portuarios. Fuente: ROM 4.1-94



4.2. Explanadas

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. Debiendo extenderse en tongadas no superiores a 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.

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

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 $\text{CBR} > 20$ (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*

La clasificación de las diferentes explanadas para el proyecto de los firmes portuarios se realiza con lo expuesto en la *Tabla 4.2* de la *ROM 4.1-94 (Figura 5)*.

En nuestro caso, para la realización de la explanada sobre la que descansarán los firmes portuarios en las distintas zonas del Puerto Deportivo de Oliva, se ha optado por disponer un **relleno bueno no consolidado (BNC)**, formado, o bien por un relleno hidráulico con bajo contenido en finos ($< 10\%$), o bien por un relleno de vertido directo con materiales terrestres no sometidos a ningún proceso de consolidación. Con respecto a la coronación, se ha optado por un **suelo seleccionado** que cumpla una serie de características tal y como muestra en el *Artículo 330.3.3* del *PG-3*.



Tipo	Explanada		
	Relleno		Coronación
	BNC		Suelo seleccionado
	Relleno hidráulico	Relleno de vertido directo	
Características	Contenido en finos < 10%	- Materiales terrestres - Ningún proceso de consolidación	- MO < 0,2 % - SS < 0,2 % - D_{max} < 100 mm (*) # 0.40 < 15 % # 2 < 80 % # 0.40 < 75 % # 0.080 < 25 % - LL < 30 - IP < 10

(*) En caso contrario, deberá de cumplir todas y cada una de las siguientes condiciones

Tabla 3. Características de la explanada

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

Figura 5. Categorías de explanadas. Fuente: ROM 4.1-94

Para finalizar, con todo lo expuesto anteriormente podemos concluir que la categoría de explanada que se ejecutará y servirá de base para los distintos firmes que se llevarán a cabo en el Puerto Deportivo de Oliva será del tipo **E1**, es decir, una **explanada aceptable**.



5. MATERIALES PARA FIRMES Y PAVIMENTOS

A continuación se presenta una lista de los materiales que pueden ser empleados para las distintas capas de los firmes y pavimentos portuarios. Se distinguen dos grandes grupos, los materiales utilizados en capas inferiores y los materiales utilizados en pavimentos.

- Materiales utilizados para capas inferiores:
 - *Subbases granulares*
 - *Bases granulares*
 - *Suelocemento*
 - *Gravacemento*
 - *Gravaescoria*
 - *Gravaemulsión*
 - *Hormigón magro*
- Materiales utilizados para pavimentos:
 - *Hormigón vibrado*
 - *Hormigón compactado con rodillo*
 - *Hormigón armado*
 - *Pavimentos de hormigón armado con juntas*
 - *Pavimentos continuos de hormigón armado*
 - *Soleras de hormigón armado*
 - *Hormigón armado con fibras*
 - *Placas prefabricadas de hormigón*
 - *Adoquines prefabricados de hormigón*
 - *Adoquines de piedra labrada*
 - *Pavimentos asfálticos*
 - *Pavimentos percolados*
 - *Lechos de gravas*



6. DIMENSIONAMIENTO DE FIRMES PORTUARIOS

El dimensionamiento de los firmes portuarios esta altamente influenciado por diversos factores que han sido tratados a lo largo del presente anejo con tal de poder llegar finalmente a una conclusión a la hora de adoptar uno u otro firme. A continuación se expone cada uno de estos factores y explica de que manera van a influir en la elección final.

➤ USO DE LA SUPERFICIE PORTUARIA:

En el caso de la ampliación en la que se basa este proyecto, la superficie portuaria en la que se deberá de ejecutar el firme tendrá únicamente un **uso deportivo o de recreo**.

➤ EQUIPOS DE MANIPULACIÓN:

En las nuevas zonas de operación y varada trabajaran simultáneamente una grúa de 5t de capacidad de elevación y un Fork Lift que se encargará de dar servicio a los usuarios de la marina seca.

➤ CARACTERÍSTICAS DEL RELLENO:

Para el relleno se ha optado por disponer un **relleno bueno no consolidado (BNC)**, formado, o bien por un relleno hidráulico con bajo contenido en finos ($< 10\%$), o bien por un relleno de vertido directo con materiales terrestres no sometidos a ningún proceso de consolidación. Con respecto a la coronación, se ha optado por un **suelo seleccionado**.

➤ CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DISPONIBLES:

Para conocer las características y la procedencia de los materiales de los que se dispone consultar el *Anejo 6. "Procedencia de materiales"*.

➤ VIDA ÚTIL:

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.



7. ELECCIÓN DEL TIPO DE FIRME

Con las categorías de explanada y de tráfico, se va a proceder a seleccionar uno de los tipos de firme recogidos en el catálogo que se muestra en la *ROM 4.1-94* para el uso y la zona considerados. 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. Cabe destacar que la instalación portuaria tan sólo cuenta con zona de **uso deportivo**, por tanto, se deberá de seleccionar un tipo de firme para cada zona correspondiente a este uso. A continuación, se va a recopilar una serie de información importante, toda ella obtenida a lo largo del presente anejo, y que nos servirá tanto para poder elegir un firme adecuado, como para saber sus dimensiones y geometría.

- **Uso:** *Uso deportivo*
- **Zonas:**
 - *Zona de operación o varada*
 - *Zona complementaria. Estacionamiento*
 - *Zona complementaria. Circulación*
- **Categoría de tráfico:**
 - *Zona de operación o varada: Tráfico B (pesado)*
 - *Zonas complementarias. Estacionamiento: Tráfico B (pesado)*
 - *Zonas complementarias. Circulación: Tráfico T41 (ligero) (Según Instrucción de Carreteras Norma 6.1 IC y Norma 6.2 IC de secciones de firme)*
- **Tipo de explanada:**
 - *Tipo: Aceptable, Tipo E1*
 - *Relleno: Relleno bueno no consolidado (BNC)*
 - *Coronación: Suelo seleccionado*

Según la *Tabla C.3* de la *ROM 4.1-94 (Figura 6)*, el firme deberá de tener una subbase de zahorra natural de 0,25 metros y una base de zahorra artificial de también 0,25 metros. Si la capa de zahorra natural se sustituye por zahorra artificial, será posible poner 0,05 metros menos de espesor. En nuestro caso hemos optado por ejecutar una única capa de zahorra artificial de 0,45 metros.



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	-----	-----	
NOTAS: (1) Sólo es admisible en el caso de firmes provisionales. (2) Se podrán colocar hasta 0,05 m menos si la zahorra natural se sustituye por zahorra artificial. (3) Salvo en los casos que se indican más adelante (adoquines prefabricados de hormigón con tráfico A o B).			

Figura 6. Capas inferiores. Fuente: ROM 4.1-94

➤ ZONA DE OPERACIÓN O VARADA:

Atendiendo a las *Tablas C.17 a y b* (Figura 7), se obtiene que según el tráfico previsto en esta zona sería posible realizar distintos pavimentos como puede ser ejecutar un pavimento de hormigón vibrado, de hormigón compactado con rodillo, un pavimento continuo de hormigón armado o incluso disponer de adoquines prefabricados de hormigón y mezclas bituminosas.

Se ha optado por ejecutar un **pavimento de hormigón vibrado HP-40** de 0,30 metros de espesor. Con respecto a las juntas longitudinales, se deberán disponer juntas de alabeo realizadas mediante aserrado con una profundidad mínima de corte de 7 cm y se sellarán con un producto que cumpla las condiciones establecidas en la *Norma 6.1 IC* y *6.2 IC*. También se dispondrán de juntas transversales de contracción cada 5 metros con una profundidad mínima de corte de 7 cm y coincidirán con el emplazamiento de las juntas de hormigonado. Las juntas transversales se pueden dejar sin sellar, puesto que el puerto se encuentra en una zona calificada por la *Instrucción de Carreteras Norma 6.1 IC* y *Norma 6.2 IC* de secciones de firme como poco lluviosa.



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.				

Figura 7. Uso deportivo. Zonas de operación o varada. Fuente: ROM 4.1-94

➤ **ZONAS COMPLEMENTARIAS. ESTACIONAMIENTO:**

De manera análoga a la zona anterior, pero en este caso atendiendo a las *Tablas C.18 a y b* (*Figura 8*), se obtiene que al igual que en la zona anterior sería posible la realización de distintos pavimentos.

A vistas de dar una continuidad estructural a los distintas zonas del puerto, se ha optado también por ejecutar un **pavimento de hormigón vibrado HP-40** de un espesor de 0,25 metros. Todo lo correspondiente a las juntas, tanto transversales como longitudinales, es totalmente idéntico a lo comentado en la zona de operación o varada.

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.				

Figura 8. Uso deportivo. Zonas complementarias. Estacionamiento. Fuente: ROM 4.1-94

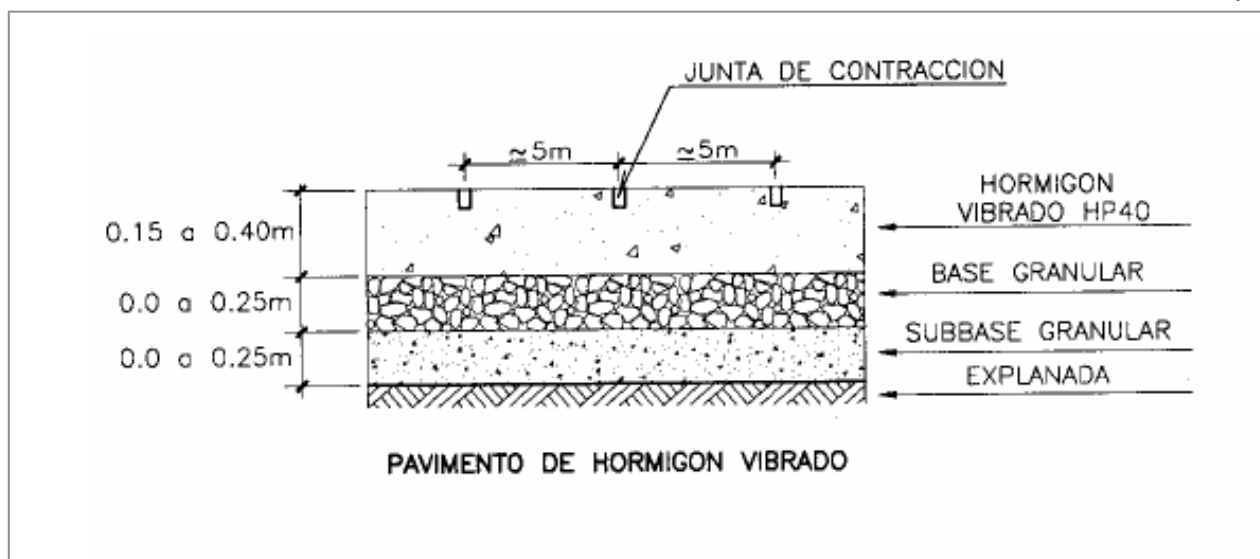


Figura 9. Pavimento de hormigón vibrado. Sección tipo

➤ ZONAS COMPLEMENTARIAS. CIRCULACIÓN:

En la *ROM 4.1-94* no se hace referencia ni a los viales de acceso ni a las vías complementarias de circulación, por tanto, los viales de circulación se dimensionarán a partir de los criterios establecidos en la *Instrucción de Carreteras Norma 6.1 IC y Norma 6.2 IC de secciones de firme*.

A falta de datos, es difícil prever una intensidad media diaria de pesados en el puerto, pero como se ha comentado ya anteriormente y dado el carácter únicamente deportivo del puerto, se puede adoptar que, al tratarse también de una zona de acceso restringido, los vehículos pesados por día no superaran los 25. Estamos por tanto ante una categoría de tráfico ligero de tipo T42.

Puesto que para las anteriores zonas la explanada se ha formado con un relleno bueno no consolidado sobre el que descansa una capa de suelo seleccionado, en el caso de las zonas de circulación se ha buscado que la explanada se mantenga igual que en el resto de zonas por comodidades constructivas. Por tanto, tras lo expuesto anteriormente, podemos decir que en este caso estamos ante una explanada del tipo E1 (según la *Norma 6.1 IC y 6.2 IC*) formada por una capa de 50 cm de suelo seleccionado que descansa sobre un relleno de suelo tolerable.

Para finalizar, siendo el tráfico del tipo T42 y la explanada del tipo E1, se ha optado por ejecutar en los viales de circulación un firme tipo 4214 que corresponde a una sección formada por 20 cm de zahorra artificial y una capa de hormigón de firme de 20 cm. En este caso, el hormigón de firme es la nomenclatura que utiliza la *Norma 6.1 IC y 6.2 IC* para denominar al hormigón dispuesto en la capa de rodadura. Dado que en las zonas anteriores se ha decidido ejecutar en esta capa un hormigón vibrado HP-40 se ha decidido que en las vías de circulación del puerto se disponga de la misma manera.



Para la ejecución de las juntas, tanto longitudinales como transversales, se ha seguido lo establecido en la *Norma 6.1 IC* y *6.2 IC*. Se dispondrán juntas longitudinales de alabeo realizadas mediante aserrado a una profundidad de corte de 7 cm. Además se dispondrán juntas de contracción cada 5 metros, con una profundidad mínima de 7 cm, las cuales coincidirán con las de hormigonado. Estas juntas transversales podrán dejarse sin sellar puesto que Oliva se encuentra en una zona calificada por la norma como poco lluviosa.

➤ ZONAS PEATONALES. ACERAS:

También se ha decido proyectar la sección del firme correspondiente a las zonas peatonales ubicadas en el interior de la instalación portuaria. Se ha elegido disponer de un pavimento de adoquines de hormigón prefabricados de 0,08 metros de espesor que descansan sobre una base de nivelación de arena de 0,03 metros.

El modelo elegido para las aceras corresponde al “Adoquín Inca” fabricado por *GLS Prefabricados*. Las dimensiones del adoquín son 8 x 16 x 12 cm y se utilizará un cemento Portland como mortero para realizar su unión.

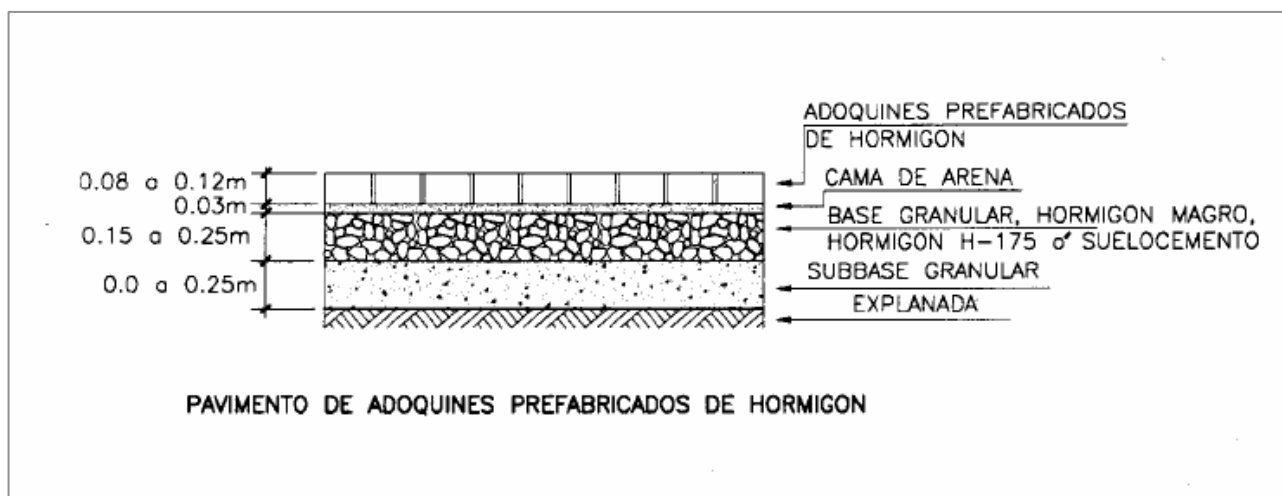


Figura 10. Pavimento de adoquines prefabricados de hormigón. Sección tipo



8. SECCIONES

En el *“Plano 23. Secciones de firmes”* del *“Documento nº2. Planos”* del presente documento, pueden observarse las secciones tipo de los distintos firmes que se ejecutan en el Puerto Deportivo de Oliva debido a la ampliación.

MARTÍNEZ BAENAS
Abraham

Valencia, Junio de 2015