

ANEJO Nº10 : PAVIMENTOS

TUTOR:

VICENTE CERDÁ GARCÍA DE LEONARDO

AUTORES:

ALEJANDRO DE SAN JUAN PEIRÓ

FECHA: JUNIO 2015



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN..... 1

2. DEFINICIÓN DE ZONAS EN FUNCIÓN DE SU USO 1

3. CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS 2

 3.1. CARGAS DE ESTACIONAMIENTO O ALMACENAMIENTO 2

 3.1.1 CARGAS EN ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES 2

 3.2. CARGAS DE EQUIPOS E INSTALACIONES DE MANIPULACIÓN DE MERCANCIAS..... 2

 3.3. CARGAS DEL TRÁFICO PESADO CONVENCIONAL 3

 3.4. CARGAS DE CÁLCULO SEGÚN EL USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS 3

 3.4.1. ZONA DE OPERACIÓN 3

 3.4.2. ZONA DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES 4

 3.4.3. ZONA COMPLEMENTARIA. CIRCULACIÓN, VIALES DE ACCESO Y ESTACIONAMIENTO..... 4

4. INTENSIDAD DE USO 4

5. CATEGORÍA DEL TRÁFICO. 4

6. CATEGORÍA DE LA EXPLANADA..... 5

7. DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME. 6

 7.1. CAPAS INFERIORES DEL FIRME 6

 7.2. ELECCIÓN DEL TIPO DE PAVIMENTO 6

 7.2.1. ZONA DE OPERACIÓN 6

 7.2.2. ZONA DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES..... 6

 7.2.3. ZONA COMPLEMENTARIA. 7

 7.2.4. ZONA DE TALLER RTG..... 7

 7.2.5. ZONA AJARDINADA..... 7

8. PRESCRIPCIONES TÉCNICAS QUE DEBE CUMPLIR LA CORONACIÓN DEL RELLENO. 8

9. PRESCRIPCIONES TÉCNICAS QUE DEBEN CUMPLIR LAS UNIDADES DE OBRA DEL FIRME. 8

 9.1. ZAHORRAS ARTIFICIALES..... 8

 9.2. HORMIGÓN VIBRADO..... 8

10. CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS..... 9

 10.1. ZONA DE OPERACIÓN 9

 10.2. ZONA DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES..... 9

10.3. ZONA COMPLEMENTARIA..... 9

11. DETALLES CONSTRUCTIVOS..... 9

 11.1. JUNTAS..... 9

1. INTRODUCCIÓN

El objeto del presente anejo es el dimensionamiento del pavimento para el muelle de contenedores que se proyecta, para lo cual es necesario conocer y caracterizar el tipo de uso que se va a hacer de las diferentes zonas de las cuales se compone el proyecto, y derivado de este uso, las cargas que ha de soportar el pavimento. Por tanto el proceso que se seguirá es el siguiente:

- Determinación de las zonas en función de su uso y tipo de actividad.
- Caracterización de las cargas de cálculo para cada obra.
- Establecimiento del tipo de tráfico obtenido como combinación de las cargas y de la intensidad de uso.
- Dimensionamiento de la explanada y del pavimento a partir de las cargas de cálculo.

Hay que destacar que para el diseño de los pavimentos se han seguido las recomendaciones recogidas en la ROM 4.1-94 “Recomendaciones para proyectar y construir Pavimentos Portuarios” y la Norma 6.1-IC “Secciones de Firme” de la instrucción de Carreteras.

2. DEFINICIÓN DE ZONAS EN FUNCIÓN DE SU USO

El proyecto de firmes y pavimentos portuarios requiere una clasificación de las superficies atendiendo en primer término al uso que se vaya a hacer de las mismas y, a continuación, en función del tipo de actividad que se vaya a realizar en ellas.

A efectos de su pavimentación, las diferentes zonas que se pueden distinguir en un puerto se pueden clasificar atendiendo al uso que se vaya a hacer de las mismas y/o al tipo de actividad al que vayan a ser destinadas.

Atendiendo al uso podemos distinguir cinco zonas:

- **Uso comercial:** Incluye todas las áreas destinadas a efectuar intercambios entre los modos de transporte marítimo y terrestre, manipulación y almacenamiento de mercancías y cuyo fin primordial es el comercio ya sea nacional o internacional.
- **Uso militar:** Relacionado directamente con buques de uso militar, donde es de destacar la existencia de algunas acciones especialmente agresivas.
- **Uso pesquero:** Relacionado directamente con la actividad pesquera, incluyendo las zonas de paso de pesca, de abastecimiento y atraque de embarcaciones.
- **Uso deportivo:** Comprende todas aquellas instalaciones en las que se realizan actividades específicas de deporte y recreo, incluyendo los complejos náutico -residenciales, embarcaderos deportivos, puertos e islas.
- **Uso industrial:** Aquel que es característico de una industria o zona industrial (refinerías, astilleros, siderurgias).

En este caso, se podría clasificar la superficie en estudio como destinada a uso comercial, en el que se incluyen todas las actividades portuarias de intercambio entre modos de transporte terrestre y marítimo, y de manipulación y almacenamiento de mercancías siempre que el principal fin sea el comercio.

El uso comercial se caracteriza fundamentalmente por tratarse de carga, acopio y descarga mercancía general en contenedores.

Podemos definir las siguientes zonas, claramente diferenciadas en el diseño de la nueva terminal, a efectos de pavimentación:

1.- ZONA DE OPERACIÓN: “Destinada a la transferencia y manipulación de mercancías, materiales o suministros sin que se produzca acumulación duradera de éstos” (artículo 2.2.1. ROM 4.1-94). Es preciso señalar que también las citadas Recomendaciones de Obras Marítimas, señalan como definición de 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”.

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) como sobre todo los de circulación no restringida (sobre neumáticos o orugas)

En nuestro caso consideramos una zona de operaciones portuarias de 60 m de anchura, a contar desde el cantil del muelle. Teniendo en cuenta una anchura necesaria de 3 metros para la distancia entre la línea de atraque y el eje de rodadura lado mar, 32 metros para el área destinada a la zona de rodadura de carga y descarga y otra zona destinada a operaciones auxiliares de 25 metros.

2.- ZONA DE ALMACENAMIENTO: “Destinada a la permanencia durante días de mercancías o suministros, permitiendo el acopio de los mismos” (artículo 2.2.2. ROM 4.1-94).

- **Almacenamiento de contenedores**
“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 12m), en función del espacio disponible, el sistema de distribución y el equipo de manipulación empleado. En estas zonas se producen unas cargas concentradas de gran magnitud” (artículo 2.2.2.4 ROM 4.1-94).

A efectos de la pavimentación se considera zona de almacenamiento al área central comprendida por los bloques de contenedores almacenados, entendiendo el almacenaje de contenedores vacíos como zona incluida, así como por los viales de comunicación y acceso que trascurren entre ellos, teniendo en cuenta la existencia de vigas carril que permanecen con pavimentación propia.

3.- ZONA COMPLEMENTARIA: “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.” (Artículo 2.2.4. ROM 4.1-94).

Esta zona es la que se extiende, como se puede observar en la imagen siguiente, en la zona noreste de la terminal lindando en su zona norte con los viales de acceso a la terminal y en su vertiente este con un dique de escollera separatorio pendiente de alojar en el los tramos de vías pertinentes para el paso de ferrocarril.

Forman parte de esta zona las dependencias administrativas, jardines, zona de aduanas, talleres, mercancías peligrosas y zonas de estacionamiento así como los diferentes sistemas de entrada y salida de la terminal.

- Estacionamiento de plataformas y cabezas tractoras.

A efectos de pavimentos, se mantendrá el especificado para zona complementaria evitando con ello condicionar la explotación.

Las plataformas tienen anchuras de 2,5m y longitudes de 20 pies (6m) o de 40 pies (12m) se considera el estacionamiento en batería.

- Estacionamiento de RTG.

Se considera una zona anexa al taller la cual servirá de estacionamiento de RTG en general y destinados a reparación, se trata de una zona de 3000m² que se aloja en plena zona complementaria pero que presenta características de pavimento propio.

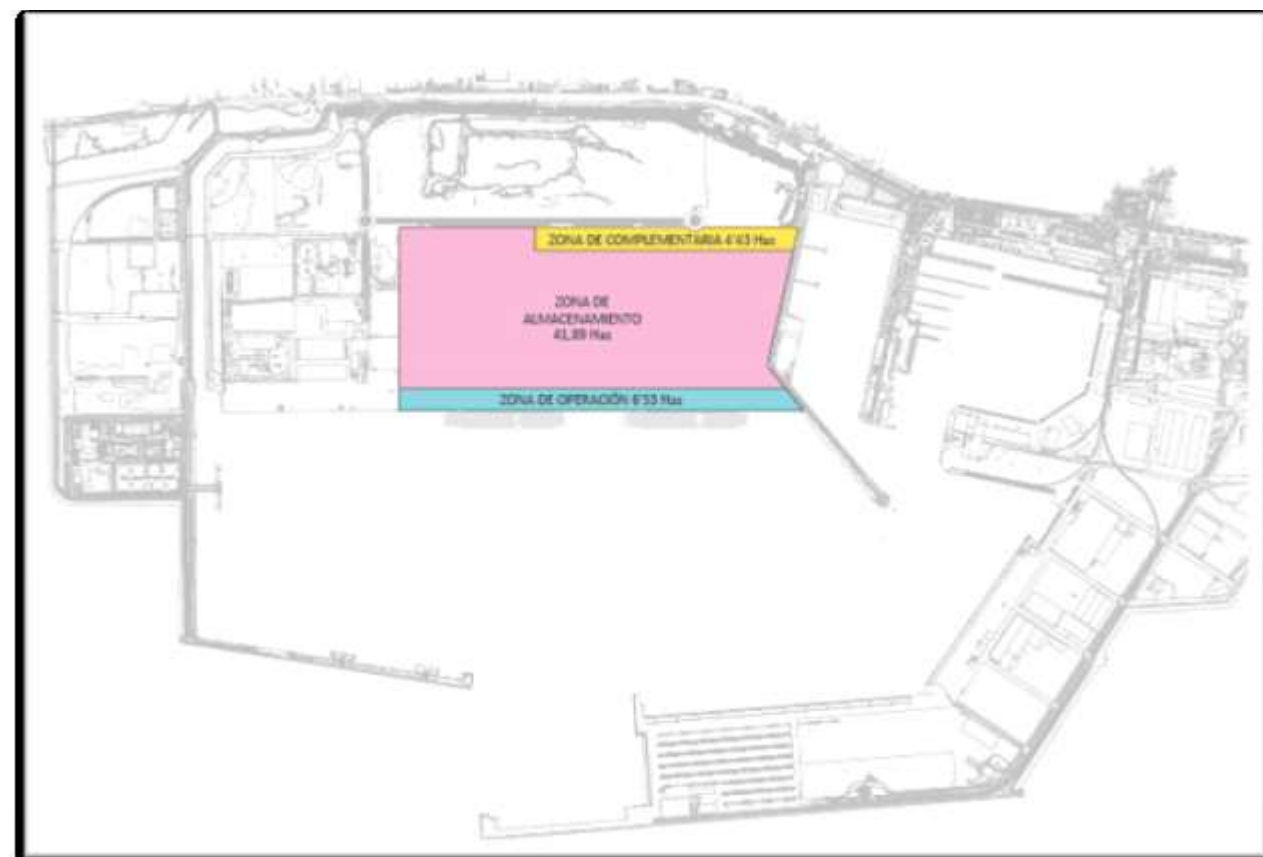


Ilustración 1- Zonas de uso de la terminal

3. CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS

Una vez establecidos los distintos usos para cada zona portuaria, en primer lugar se han de clasificar las cargas por sus efectos sobre los firmes, estableciéndose, en cada caso, una Carga de Cálculo. En segundo lugar, se analizan las Intensidades de Uso que van a desarrollarse en cada superficie durante la vida útil del pavimento.

El objetivo de esto es establecer un parámetro de dimensionamiento, las Categorías de Tráfico, combinando la Caracterización de las cargas y las Intensidades de uso.

Se diferencian por un lado las cargas que transmiten al pavimento los materiales o mercancías acopiados o almacenados en una determinada superficie y por otro, las cargas que aplican los equipos que se emplean en la manipulación de dichos materiales o mercancías.

3.1. CARGAS DE ESTACIONAMIENTO O ALMACENAMIENTO

“Son cargas de naturaleza variable, debidas fundamentalmente al peso de las 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 periodo de tiempo.” (Artículo 3.1.1 ROM 4.1-94).

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 se solicita el firme.

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

3.1.1 CARGAS EN ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

Las cargas de los contenedores se transmiten al firme por elementos de apoyo de 0,178 x 0,162 m² situados en las esquinas, los cuales sobresalen de su cara inferior 0,0125m y son empleados para aislar del suelo la mercancía y facilitar su manipulación.

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 de 20 pies (1 TEU) y 40 pies (2 TEU).

Según la ROM 4.1-94, las cargas totales de los contenedores son muy variables, para un contenedor de 20 pies la carga máxima es de unos 200kN, pero se puede estimar que la carga media no supera los 130 kN, por otra parte para un contenedor de 40 pies la carga máxima es de unos 300 kN y estimando una carga media no superior a 200 kN.

Las presiones de contacto sobre el pavimento dependen de:

- La carga.
- Forma de almacenamiento. (aislados, fila simple, bloque).
- Altura empleada.
- Rigidez del pavimento.

3.2. CARGAS DE EQUIPOS E INSTALACIONES DE MANIPULACIÓN DE MERCANCIAS

“Son las cargas de naturaleza variable transmitidas al pavimento por los sistemas y equipos de manipulación de mercancías, materiales o suministros.” (Artículo 3.1.2 de la ROM 4.1-94).

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

- Equipos de circulación restringida, sobre carriles o vigas carril.

- Equipos de circulación no restringida, sobre neumáticos o orugas.

La existencia de esfuerzos horizontales importantes 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.

Se emplearán los correspondientes a los equipos más usuales para este tipo de terminales de manipulación de mercancía general contenedorizada extraídos de la tabla 3.2.de la ROM 4.1-94. En dicha tabla encontramos también las cargas y presiones de los diferentes equipos de manipulación empleados en las peores condiciones de trabajo.

- **Grúas portacontenedores**

Son equipos especializados en el movimiento de contenedores entre los diferentes modos de transporte, usados en la zona de operaciones disponen de una pluma abatible formando un largo voladizo, no son giratorias y poseen circulación restringida.

- **Pórticos de almacenamiento (transtainers)**

Se dedican a la manipulación de contenedores en las zonas de almacenamiento de los mismos, se desplazan sobre neumáticos por caminos de rodadura preestablecidos diseñados en forma de viga flotante consiguiéndose así que el dimensionamiento de los firmes pueda independizarse de las características de estos equipos. Trasmiten cargas del orden de 450 kN por rueda y presiones de contacto de 1,1 MPa.

- **Reach Stackers**

Equipo generalmente de apoyo para el funcionamiento de la Terminal, principalmente se utilizan para la manipulación de contenedores vacíos, aunque con este tipo de maquinaria se permite un trasporte rápido de contenedores pero para distancias cortas. En comparación con las carretillas elevadoras, los Reach Stacker son mucho más eficientes y eficaces, ya que tienen mayor flexibilidad y mayor capacidad de apilamiento y almacenamiento de contenedores. Se consideran Reach Stackers de 40t con una carga máxima en cada punto de apoyo de 220 kN y una presión máxima de contacto de 0,6 MPa.

3.3. 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; ha de ser tenido en cuenta en el dimensionamiento de los firme de las zonas complementarias” (Artículo 3.1.4 de la ROM 4.1-94).

Los vehículos pesados que pueden circular sin restricciones por las carreteras tienen en España las siguientes cargas límites:

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

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

3.4. CARGAS DE CÁLCULO SEGÚN EL USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS.

La ROM 4.1-94 de pavimentos portuarios clasifica las cargas de cálculo como bajas, medias o altas para las diferentes situaciones posibles, prestando atención sobre el hecho de que las cargas de cálculo clasificadas de la misma manera para situaciones diferentes no son necesariamente equivalentes.

Para cada zona portuaria se distinguirá entre cargas de almacenamiento y cargas de manipulación.

A fin de combinarlas con la intensidad de uso y obtener la categoría de tráfico, se tomará, con carácter general, la carga de cálculo más elevada en cada una de las zonas determinadas.

USO COMERCIAL (ver "Secciones Tipo")	ZONAS DE OPERACIÓN	-ALMACENAMIENTO	» ALTA	
		-MANIPULACIÓN	» ALTA	
	ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE GRANELES SÓLIDOS	-ALMACENAMIENTO	-GRANELES SÓLIDOS ORDINARIOS	
			-GRANELES SÓLIDOS PESADOS	
		-MANIPULACIÓN	» MEDIA	
	ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE MERCANCÍA GENERAL	-ALMACENAMIENTO	- MERCANCÍA CONVENCIONAL	
			- MERCANCÍA PESADA	
		-MANIPULACIÓN	» ALTA	
	ZONAS DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES	-ALMACENAMIENTO	» ALTA	
		-MANIPULACIÓN	» ALTA	
	ZONAS DE ESTACIONAMIENTO DE SEMIRREMOLQUES	-ALMACENAMIENTO	» ALTA	
			» ALTA	
	ZONAS COMPLEMENTARIAS ESTACIONAMIENTO.	-VEHÍCULOS LIGEROS (EXCLUSIVAMENTE)	» BAJA	
		-VEHÍCULOS LIGEROS Y PESADOS	» MEDIA	
		-VEHÍCULOS PESADOS (EXCLUSIVAMENTE)	» ALTA	

Ilustración 2 Carga de cálculo del uso comercial

3.4.1. ZONA DE OPERACIÓN

- **Carga de cálculo de almacenamiento**

Según la R.O.M. 4.1-94 en el apartado 3.3.1.1.1, para terminales de contenedores se considera una carga de cálculo de almacenamiento **ALTA** por razones de operatividad de las superficies portuarias y 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.

- **Carga de cálculo de manipulación**

Teniendo en cuenta las características de los equipos de manipulación que se emplearán, y de acuerdo con los valores de la tabla 3.2 de la R.O.M 4.1-94, se obtienen valores de carga máxima en cada punto de apoyo $Q_v > 700kN$ y de presión máxima de contacto $P_v > 1,5 MP$ siendo estos valores los correspondientes a una carga de cálculo de manipulación **ALTA** según el apartado 3.3.1.1.2 de la R.O.M 4.1-94.

3.4.2. ZONA DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

- Carga de cálculo de almacenamiento

Se considera que los contenedores estarán apilados en bloque de 3 alturas, siendo esta la altura media, pero no descartaremos que el apilado llegue a su máximo de 5 alturas cuando esté en funcionamiento la totalidad de la terminal proyectada, es por esta razón que en base al apartado 3.3.1.4.1 de la ROM 4.1-94, se considera una carga **ALTA**, con cargas máximas $Q_v > 1200\text{KN}$ y presiones de contacto $P_v > 10\text{MPa}$.

- Carga de cálculo de manipulación

Teniendo en cuenta las características de los equipos de manipulación que se emplearán, y de acuerdo con los valores de la tabla 3.2 de la R.O.M 4.1-94, se obtienen valores de carga máxima en cada punto de apoyo $Q_v > 700\text{kN}$ y de presión máxima de contacto $P_v > 1,5\text{ MPa}$ siendo estos valores los correspondientes a una carga de cálculo de manipulación **ALTA** según el apartado 3.3.1.1.2 de la R.O.M 4.1-94.

3.4.3. ZONA COMPLEMENTARIA. CIRCULACIÓN, VIALES DE ACCESO Y ESTACIONAMIENTO

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; “Semiejes con ruedas gemelas con cargas de 65kN y presiones no superiores en general a 0,9 MPa.”

Tal y como se determina la categoría de tráfico en la citada instrucción no procede en este caso la clasificación de la carga de cálculo.

Se considerará el destino de las plazas de estacionamiento disponibles:

- **Media:** Estacionamiento de vehículos pesados y ligeros.

4. INTENSIDAD DE USO

La intensidad de uso es, junto con las cargas aplicadas, el dato fundamental para definir la categoría de tráfico en una superficie portuaria.

Tal y como la define la ROM, la intensidad de uso da una idea del número de veces que durante la vida útil se aplican unas determinadas cargas sobre la superficie.

Para evaluar dicha intensidad, la ROM 4.1-94 propone establecer una serie de índices de explotación portuaria, se clasifican como reducidas, medias o elevadas en función de los valores de los índices definidos. Salvo que se dispongan de datos concretos y específicos, en aquellos casos más generales en que no se dispone de todos los datos, se aconseja efectuar el dimensionamiento con una intensidad de uso Media, para cualquier situación, excepto cuando se prevea la existencia de una gran afluencia de tráfico en la zona, en cuyo caso los cálculos se efectuarán con una intensidad de uso Elevada. No obstante, este matiz diferenciador de intensidades de uso sólo afectará en el caso de cargas bajas. Intensidades de uso Reducidas no son recomendables, salvo en el caso de disponer de datos específicos que lo aconsejen.

La intensidad de uso en las superficies portuarias está directamente ligada, en las zonas de operación, al medio de transporte terrestre utilizado en la transferencia de la mercancía, por otra parte, en las zonas de almacenamiento, se pueden distinguir dos situaciones:

- 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.

En el presente Proyecto se va a considerar que se produce la primera situación, es decir, no hay separación física entre la zona de depósito y la de circulación. Por lo tanto, no habrá distinción entre los pavimentos de ambas zonas.

A falta de datos más precisos, consideramos que la intensidad de uso será MEDIA, dado que ésta cubre la mayor parte de las situaciones que pueden darse.

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

MEDIA - $300 \leq I_{1,1} \leq 3000 \text{ t/m}$

- **Zona de almacenamiento de contenedores:** Contenedores manipulados por unidad de superficie en la zona en el año medio de la vida útil: $I_{1,4} (\text{TEU/m}^2)$.

MEDIA - $0,2 \leq I_{1,4} \leq 2 \text{ TEU/m}^2$

- **Zona complementaria. circulación, viales de acceso y estacionamiento**

MEDIA - Se consideran más de 100 plazas totales de estacionamiento

5. CATEGORÍA DEL TRÁFICO.

En la ROM 4.1-94 de pavimentos portuarios se definen cuatro categorías de tráfico según la carga de cálculo y la intensidad de uso de la superficie considerada:

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

En nuestro caso y atendiendo a la tabla 3.3 de la citada norma, consideraremos los siguientes tipos de tráfico:

- **Zona de operación:** Tráfico muy pesado **A**

Intensidad: MEDIA

Carga de cálculo: ALTA

- **Zona de almacenamiento de contenedores:** Tráfico muy pesado **A**

Intensidad: MEDIA

Carga de cálculo: ALTA

- **Zona complementaria: Estacionamiento** – Tráfico pesado **B**

Intensidad: MEDIA

Carga de cálculo: MEDIA

ZONA	INTENSIDAD DE USO	CARGA DE CALCULO	CATEGORÍA DE TRÁFICO
Operación	MEDIA	ALTA	MUY PESADO (A)
Almacenamiento	MEDIA	ALTA	MUY PESADO (A)
Estacionamiento	MEDIA	MEDIA	PESADO (B)

Tabla 1 - Resumen categorías de tráfico

6. CATEGORÍA DE LA EXPLANADA.

La explanada se define como la superficie de coronación del relleno sobre la que 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.

Para definir la categoría de la explanada se tendrán en cuenta la naturaleza del relleno y su grado de consolidación, además de los materiales empleados para la coronación.

Por lo tanto, según la ROM 4.1-94 se pueden definir cuatro categorías de explanada:

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

La ROM 4.1-94 define seis categorías de rellenos y cinco situaciones de coronación:

Categorías de los 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 cometidos a ningún tratamiento de consolidación.
- Rellenos buenos consolidados (BC): Ídem, pero sometidos a alguno de los tratamientos de consolidación.

Las situaciones de la coronación que se pueden producir son las siguientes:

- 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 mane 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 mane manera que la mezcla cumpla las exigencias de los suelos seleccionados con CBR superior a 20).
- Coronación con todo uno de cantera.

Se considera en este estudio que el relleno empleado, dada la experiencia similar con el tipo de relleno hidráulico que se pretende emplear, se puede clasificar como BC (bueno consolidado), puesto que se proyecta la realización de una consolidación del relleno y con un CBR > 20.

Por lo tanto, según la tabla 4.2 de la ROM 4.1-94 de categorías de explanadas permite clasificar nuestra explanada como E3.

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.

Ilustración 3 - Categoría de la Explanada

7. DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME.

El objetivo fundamental de 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.

La elección del tipo de firme se realiza en función de las categorías de la explanada y del tráfico, según el catálogo de secciones tipo propuestas por la ROM 4.1-94 de pavimentos portuarios para el uso y la zona considerados.

7.1. 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 considerado.

En nuestro caso al considerar una categoría E3 para nuestra explanada según la ROM 4.1-94, no sería precisa la colocación de subbase, puesto que dada la naturaleza del relleno que se va a utilizar no es necesaria.

Asimismo según la tabla C.3 de la citada ROM, en el caso de explanada E3, tampoco sería preciso el empleo de una capa de base. No obstante debido a experiencias anteriores con el relleno considerado y no por razones estrictas de cálculo, sino operativas se prevé el empleo de una capa de zahorra artificial de 25 cm de espesor. De esa forma garantizaremos la correcta nivelación para la posterior recepción del firme.

7.2. ELECCIÓN DEL TIPO DE PAVIMENTO

Los parámetros obtenidos para la elección del tipo de firme son los siguientes:

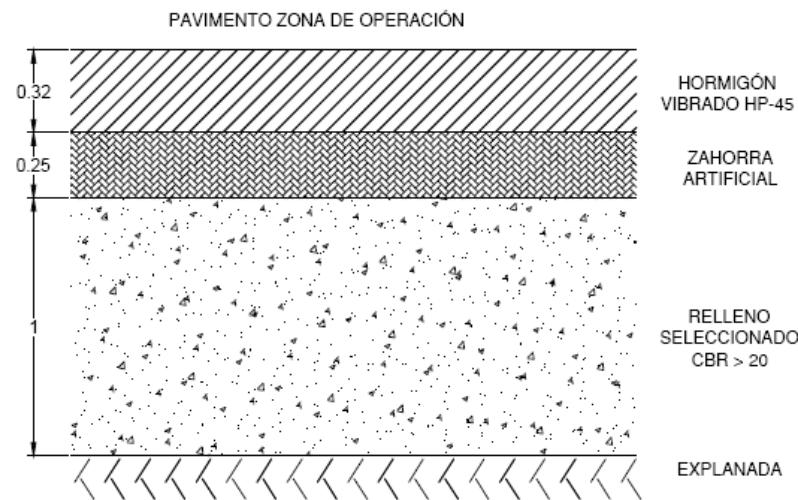
- Explanada muy buena (E3)
- Tráfico muy pesado (A) en la zona de operación y almacenamiento de contenedores
- Tráfico pesado (B) en la zona complementaria; estacionamiento

- Uso comercial

La sección de pavimento para cada zona de uso de la terminal proyectada se ha elegido teniendo en cuenta las diferentes tipologías de sección del firme recomendadas por el catalogo de secciones estructurales normalizadas que nos proporciona la ROM 4.1-94

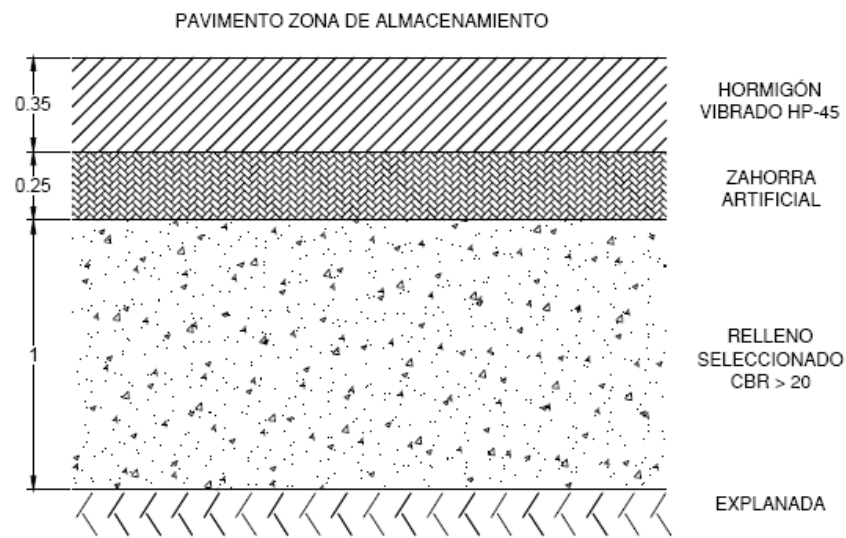
7.2.1. ZONA DE OPERACIÓN

En este caso se va a seleccionar una sección formada por hormigón vibrado HP 45 porque se ha empleado en otras obras portuarias de similares características y se considera que puede dar una buena respuesta frente a las exigencias del presente Proyecto. Debido a que el tráfico de esta zona se ha clasificado como A, el espesor del hormigón vibrado será de 32 cm, siguiendo las recomendaciones del catálogo que nos ofrece la ROM 4.1-94. Se colocarán juntas cada 5 m.



7.2.2. ZONA DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

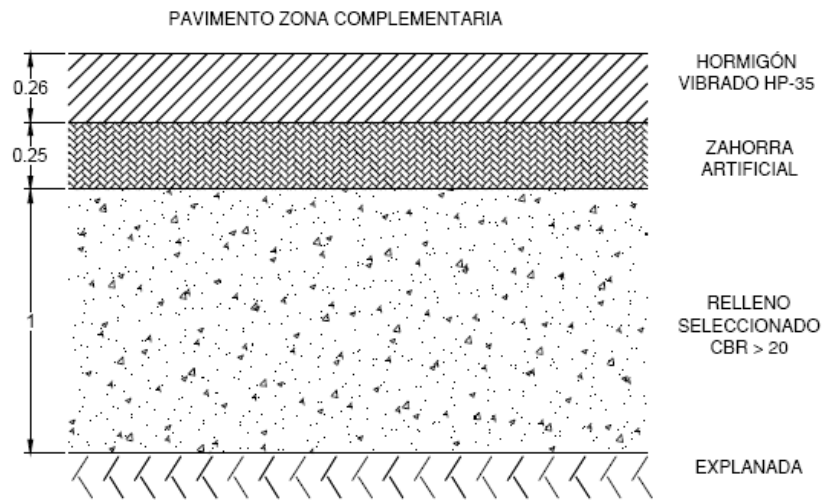
Para la zona de almacenamiento, la ROM propone las mismas secciones que en el área de operación incluyendo además una con lechos de grava. En este caso también se ha escogido la sección de hormigón vibrado HP 45 para dar continuidad. Según el catálogo, a esta parte del firme le corresponde un espesor de hormigón vibrado de 35 cm con juntas cada 5 m.



7.2.3. ZONA COMPLEMENTARIA.

En esta zona, el factor determinante para la elección del pavimento es el tráfico pesado, ya que aporta las cargas más elevadas actuantes en dicha zona.

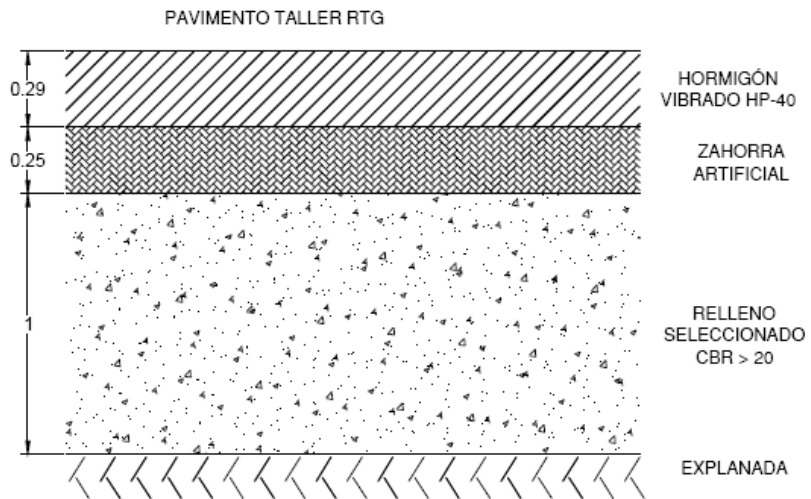
Según el catálogo de la ROM, optaremos por un pavimento de hormigón vibrado HP 35 de espesor 26 cm aplicando juntas cada 5 m.



7.2.4. ZONA DE TALLER RTG.

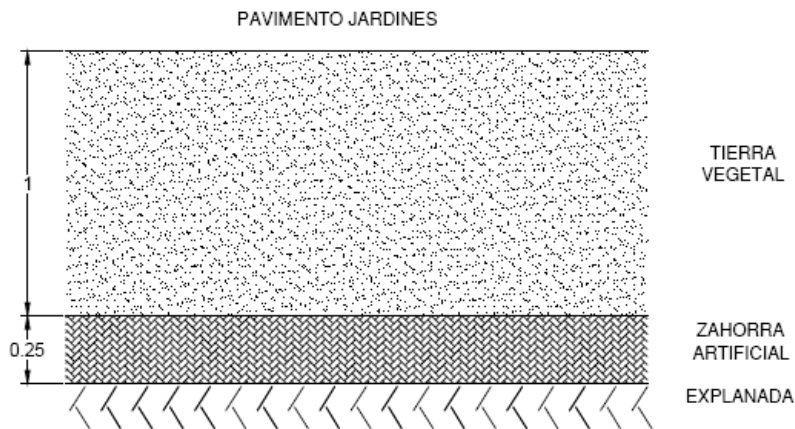
En la zona del taller de mantenimiento de las grúas pórtico RTG, se considerará un pavimento tipo HP-40 de 29cm de espesor con juntas cada 5 m. De esta manera se intenta evitar filtraciones de materias grasas que invadan las capas inferiores, así como proporcionar un correcto funcionamiento frente al efecto de la abrasión.

Bajo esta capa de rodadura, como se dispone de un relleno seleccionado CBR>20 con 50 cm de espesor para garantizar una explanada tipo E3, no es necesario colocar otra subcapa pero teniendo en cuenta experiencias anteriores se prevé el empleo de una capa de zahorra artificial de 25 cm de espesor.



7.2.5. ZONA AJARDINADA.

Zona destinada a la implantación de diferentes especies de árboles y arbustos, se considera área no transitable por lo tanto, está constituida en su mayoría por una gran capa de tierra vegetal sobre 25 cm de zahorra artificial.



8. PRESCRIPCIONES TÉCNICAS QUE DEBE CUMPLIR LA CORONACIÓN DEL RELLENO.

La ROM 4.1-94 también incluye una serie de recomendaciones técnicas que se deben cumplir en la selección de los materiales, ejecución y mantenimiento del firme portuario. A continuación se recogen las más relevantes.

Como material para la coronación se van a emplear suelos seleccionados con CBR > 20 y deberán cumplir las siguientes características del artículo 330 del PG-3:

- Contenido en materia orgánica inferior al cero con dos por ciento ($MO < 0,2\%$), según UNE 103204.
- Contenido en sales solubles en agua, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento ($SS < 0,2\%$), según NLT 114.
- Tamaño máximo no superior a cien milímetros ($D_{max} = 100mm$)
- Cernido por el tamiz 0,40 UNE menor o igual que el quince por ciento ($\# 0,40 \leq 15\%$) o que en caso contrario cumpla todas y cada una de las condiciones siguientes:
 - Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ($\# 2 < 80\%$).
 - Cernido por el tamiz 0,40 UNE, menor del setenta y cinco por ciento ($\# 0,40 < 75\%$).
 - Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al veinticinco por ciento ($\# 0,080 < 25\%$).
 - Límite líquido menor de treinta ($LL < 30$), según UNE 103103.
 - Índice de plasticidad menor de diez ($IP < 10$), según UNE 103103 y UNE 103104.

9. PRESCRIPCIONES TÉCNICAS QUE DEBEN CUMPLIR LAS UNIDADES DE OBRA DEL FIRME.

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, por otra parte, se deberán controlar los procesos constructivos y deberá tenderse al máximo aprovechamiento de los materiales disponibles.

9.1. ZAHORRAS ARTIFICIALES

Para la capa de base formada por zahorras artificiales se caracterizará según lo dispuesto en el artículo 510 del PG-3 donde quedan especificadas las características químicas, morfológicas, de limpieza y de resistencia que deben cumplir los materiales que la forman además de indicaciones para la ejecución de la mezcla, transporte, extensión, compactación y control de calidad, entre otras.

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

El coeficiente de desgaste de Los Ángeles será inferior a 35, el equivalente de arena será mayor a 30.

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

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

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 3m, las irregulares no sobrepasarán en ningún punto los 0,010 m.

9.2. HORMIGÓN VIBRADO

En este caso, para la fabricación, transporte y ejecución del hormigón vibrado que servirá como pavimento del firme portuario proyectado, se seguirán las indicaciones incluidas en el Artículo 550 del PG-3.

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, 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: 5-12mm, 12-25mm y 25-40mm. El equivalente de arena del árido fino no será inferior a 80. El contenido mínimo de partículas silíceas en el árido fino será de 20%.

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/m³ de hormigón fresco. Por su parte, el contenido de partículas cernidas por el tamiz 0,16 UNE no será mayor de 450 kg/m³ de hormigón fresco, incluyendo entre aquéllas el cemento y las adiciones. La relación ponderal agua/cemento no será superior a 0,50.

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.

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 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.

10. CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS

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.

Valencia, Junio 2.015

AUTOR DEL PROYECTO



Fdo. Alejandro De San Juan Peiró

10.1. ZONA 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.

10.2. ZONA 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 homogénea la pareja 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.

10.3. ZONA COMPLEMENTARIA

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.

11. DETALLES CONSTRUCTIVOS

11.1. JUNTAS

En los pavimentos de hormigón se utilizará con generalidad únicamente juntas a tope evitándose las juntas machihembradas, 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.

Se dispondrán juntas de dilatación en los cruces de viales y junto a las obras de fábrica (muelles). En el caso de las juntas paralelas a cantil, deberán disponerse junto a ellas los pertinentes sistemas de recogida de las aguas de lluvia.

