



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ANEJO 4. SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Estudio de soluciones para la ordenación en planta de la Terminal de contenedores del Muelle 11 del Puerto de Alicante.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos

Universitat Politècnica de València

Titulación: Grado en Ingeniería Civil

Curso académico: 2022/2023

Autora: María Costa Porras

Tutor: Joaquín de María Garrido Checa



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	2
2. PROCESO DE DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS DE ALMACENAMIENTO	2
3. ALTERNATIVAS DE ALMACENAMIENTO	10

1. INTRODUCCIÓN

En el subsistema de almacenamiento se produce el depósito temporal de los contenedores en el patio de la terminal. También se produce el trasvase modal entre el buque y los diferentes modos de transporte terrestre como el camión o el ferrocarril.

Es el sistema que más espacio requiere, por ello se precisa aprovechar al máximo la superficie disponible para alcanzar la mayor capacidad posible.

2. PROCESO DE DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS DE ALMACENAMIENTO

Este apartado se centra en el sistema que se ha seguido para el diseño de las alternativas. Donde una vez explicado el procedimiento, se destacará la capacidad de almacenamiento de cada alternativa, su disposición del suelo, los equipos empleados y el pavimento utilizado para la terminal.

2.1. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO

Para poder calcular la capacidad de almacenamiento, normalmente se considera la densidad superficial, la altura operativa media del apilado y la rotación (anual) de los contenedores. Si se sigue el procedimiento de la ROM-4.1-18.

Cabe aclarar, que tanto la altura de apilamiento como el tiempo de estancia de los contenedores pueden variar dependiendo de los tipos de tráfico:

-Los contenedores vacíos tienen tanto una altura como un tiempo de estancia más elevados a los contenedores estándar.

-Los contenedores de importación y exportación a pesar de tener las mismas alturas, sus tiempos de estancia varían.

A continuación, se muestran en la Figura 1 las alturas máximas en condiciones normales:

USOS	NATURALEZA Y TIPO DE MERCANCÍA O SUMINISTRO	H _{a,max} (en m)	
		EN ÁREA DE OPERACIÓN	EN ÁREA DE ALMACENAMIENTO
Comercial	<i>GRANELES LÍQUIDOS SIN INSTALACIÓN ESPECÍFICA DE ALMACENAMIENTO</i>		
	En barriles	2,00	5,00
	<i>GRANELES SÓLIDOS SIN INSTALACIÓN ESPECÍFICA DE ALMACENAMIENTO</i>		
	Ordinarios o pulverulentos	3,00	10,00
	Pesados (minerales)	3,00	15,00
	<i>MERCANCÍA GENERAL CONVENCIONAL</i>		
	Paletizada	2,00	5,00
	No paletizada: ordinaria	3,00	7,00
	No paletizada: pesada	2,00	5,00
	Vehículos vacíos (sin instalación específica de almacenamiento)	1,50 (1 altura)	1,50 (1 altura)
	<i>CONTENEDORES</i>		
	Estacionamiento y almacenamiento sin plataforma o semirremolque	5,00 (2 alturas)	5,00-15,00 (2-6 alturas)
	<i>SUMINISTROS PASAJEROS</i>		
	Paletizados	2,00	-
	No paletizados	3,00	-

Figura 1 - Tabla 3.2. Alturas máximas de apilamiento de mercancías y suministros en explanadas exteriores de áreas portuarias (considerando condiciones tipo de explotación). Fuente: ROM 4.1-18

Sin embargo, en el libro “Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores” se muestra otro procedimiento a seguir que facilita el cálculo de la capacidad de almacenamiento en terminales de contenedores. Se simplifica el cálculo ya que no diferencia los tiempos de estancia medios ni las alturas operativas medias dependiendo de las tipologías de los contenedores.

$$C_p = [V_a] * \left[\frac{365}{T_e} \right] * K_p$$

C_p: Capacidad anual de almacenamiento de la terminal. Se expresa en TEUs anuales.

V_a: Volumen aprovechable de la zona de almacenamiento de la terminal $\rightarrow V_a = S * H$

S: número de huellas de contenedores marcados en tierra de capacidad en TEU albergadas en la terminal.

H: altura máxima de apilado, dependiente del sistema de almacenamiento elegido.

K_p: Coeficiente de seguridad empleado para minorar la altura máxima, lo que es necesario para trabajar en condiciones operativas y no realizar movimientos improductivos excesivos. Se calcula en días.

T_e: Referente al tiempo medio de estancia de los contenedores. Se calcula en días.

Por lo tanto, en este estudio se decide seguir el segundo procedimiento para calcular la capacidad de almacenamiento.

2.2. DISPOSICIÓN DEL SUELO

Dependiendo de la disposición del suelo elegida para el patio, esta tiene sus ventajas e inconvenientes:

- Cuando hay una disposición perpendicular al muelle:

Inconvenientes:

- El subsistema de interconexión necesita un área de operación con suficiente amplitud para que los equipos maniobren y funcionen correctamente.
- Dependiendo de los trabajos de manipulación dentro de la terminal, la productividad de las grúas va ligada directamente al modo de realización de los trabajos.
- Dificultad al incorporar cambios dentro del sistema al ser poco flexible.
- Mantenimiento y reparación tediosos, ya que afectan directamente a la efectividad de la terminal.

Ventajas:

- Recorridos más cortos y sin interacción entre los equipos y camiones externos.
- Movimientos del transporte horizontal descritos correctamente y con anterioridad debido al espacio reducido para realizarlos.
- Zonas de carga/descarga y entrega/recepción, separadas entre sí y muy delimitadas.

- Cuando hay una disposición paralela al muelle:

Inconvenientes:

- Los equipos de interconexión realizan recorridos más largos que en una disposición perpendicular.
- El diseño del tráfico debe realizarse meticulosamente debido a la interacción entre el tráfico exterior y el interior.

Ventajas:

- Los equipos se encuentran por toda la terminal, aumenta la efectividad del patio y disminuyendo la posibilidad de congestión.
- Mayor flexibilidad debido a la posibilidad de descarga/cargar simultáneamente, contenedores en ambos extremos de los bloques.
- Diseño más flexible a posibles ampliaciones del muelle y a futuros cambios.

2.3. EQUIPOS EMPLEADOS

En cada alternativa se entrará en detalle sobre los equipos empleados para el funcionamiento eficiente y eficaz de la terminal. También se clasificarán los equipos empleados entre equipos de movilidad restringida o equipos de movilidad no restringida, para su posterior análisis en el apartado del pavimento de cada alternativa.

Esta clasificación es importante ya que las cargas transmitidas al pavimento por los equipos utilizados en las actividades de carga y descarga, depósito, recogida y transporte horizontal de mercancías, suministros o materiales, se pueden clasificar en función de su variabilidad espacial en: cargas transmitidas por equipos de movilidad restringida y cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida. La distribución espacial de las cargas en el primer caso, sólo se considerará libre en las bandas de circulación establecida; adoptando así, aquella distribución que produzca los efectos más desfavorables para el modo de fallo analizado. En el segundo caso, las cargas establecidas serán libres, limitadas solamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la instalación.

Ambas clasificaciones abarcan equipos de apilamiento, recogida o intercambio modal. Los equipos de movilidad no restringida incluyen: aparte de grúas móviles; equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito sobre raíles, otros equipos como carretillas elevadoras frontales, carretillas pórticos (straddle carriers), unidades tractor-remolque, apiladoras de alcance (reach stackers), sistemas multiplataforma (multi-trailer systems), camiones, palas, etc.

Los equipos de movilidad restringida incluyen: pórticos, puentes grúa, máquinas apiladoras o recogedoras, instalaciones de carga y descarga de vagones, etc., ya sean fijas o móviles, que circulen sobre carriles como RMGs (Rail Mounted Gantry) o sobre neumáticos con movimientos canalizados sobre bandas longitudinales o circulares, como los RTGs (Rubber Tyred Gantry).

Se debe tener en cuenta que, a pesar de no considerar la existencia de esfuerzos horizontales importantes para el dimensionamiento estructural de los firmes (por giros, aceleraciones, frenadas, etc.), sí se tiene en cuenta cuando se establecen las características superficiales de los pavimentos.

2.4. PAVIMENTO

Se seguirá el criterio de elección de pavimento descrito en la ROM 4.1-18, de dimensionamiento mediante el empleo del catálogo. Para ello, se deben seguir 8 pasos:

- Selección del uso de la superficie portuaria
- Selección de la zona dentro del uso considerado
- Distinción entre cargas de almacenamiento y cargas de manipulación
- Determinación de la carga de cálculo
- Determinación de la intensidad de uso
- Determinación de la categoría de tráfico
- Capas inferiores del firme
- Elección del tipo de firme

El primer paso es la elección de uso de la superficie portuaria. Se debe elegir entre uso pesquero, industrial, de recreo, militar o comercial. El uso, el cual será el mismo en todas las alternativas, de este estudio será comercial.

En segundo lugar, las zonas a pavimentar se deben definir específicamente dentro del uso. Estas serán las zonas de operación y las zonas de almacenamiento, en todas las alternativas.

En tercer lugar, se deben distinguir las cargas de almacenamiento y las cargas de manipulación.

Cuando se habla de mercancía general contenerizada, las cargas existentes se transmiten al firme por medio de elementos de apoyo. Estos tienen unas medidas estandarizadas de 0,178*0,162 m² y se colocan en las esquinas de los contenedores. En la cara inferior, estos sobresalen 0,0125 m para poder aislar la mercancía del suelo y facilitar así su manipulación. Cuando ocurren apilamientos de varias alturas de contenedores, y están apoyados en superficies flexibles, pueden ocurrir puntos de descarga. Los puntos de descarga son los contactos con el pavimento en puntos diferentes a las esquinas. Sin embargo, esto no ocurre con los Reefers, o contenedores frigoríficos, debido a que sus largueros inferiores tienen mayor rigidez. Por ello, es tan importante seleccionar el pavimento correcto dependiendo de la maquinaria que se utilizará en la terminal.

Las cargas totales de los contenedores pueden variar dependiendo de muchas situaciones. Si un contenedor de 20 pies (TEU) tiene carga máxima, su carga total es de unos 200 KN. Sin embargo, su carga media se puede estimar a 130 KN. Para un contenedor de 40 pies (FEU), su carga máxima será de 300 KN y su carga estimada no superará los 200 KN.

Cada zona de la terminal tiene sus propias cargas específicas, que el pavimento utilizado en ellas debe soportar, para asegurar no tener problemas inesperados en el futuro.

Cuando no se disponga de datos concretos establecidos en el proyecto, la carga considerada en el dimensionamiento de los firmes en las zonas de almacenamiento de contenedores será igual a la debida a un apilamiento de contenedores de 40 pies en bloques de 5 alturas, es decir una carga de 1.485 KN aplicada dentro de un área de 0,356 * 0,324 m² y ejerciendo una presión sobre el pavimento de 12,1 MPa. La probabilidad de que en esta situación todos los contenedores estén cargados totalmente en altura es relativamente pequeña, es más habitual que esto ocurra en apilamientos de 3 alturas. En la segunda situación se estimará una carga en cada apoyo interior de 925 KN y una presión de 7,6 MPa.

Como se muestra anteriormente, al tratarse de cargas y presiones tan elevadas sólo ciertos pavimentos como el hormigón con fibras y el hormigón armado puedan garantizar que no haya deterioros una vez los contenedores estén depositados sobre el firme. Si en caso contrario, se utilizan pavimentos diferentes como el hormigón en masa, adoquines o mezclas bituminosas, existe la posibilidad de grados de deterioro, los cuales pueden estar considerados admisibles siempre que sean compatibles con la explotación y el drenaje superficial del agua de lluvia, es decir que las zonas de depósito sean empleadas exclusivamente para dicho fin.

Las cargas de manipulación se refieren a las cargas transmitidas al pavimento por los equipos utilizados. Estos se clasifican según equipos de movilidad restringida o no restringida como se ha mencionado en el apartado anterior 3.3. Cuando no se disponga de datos del equipo concreto, se utiliza la siguiente tabla para tener unos valores referentes.

EQUIPO DE MANIPULACIÓN	CARGA MÁXIMA EN CADA PUNTO DE APOYO (kN)	MÁXIMA PRESIÓN DE CONTACTO (MPa)
Pórtico de almacenamiento	675	1,35
Carretilla pórtico o lanzadera	324	1,08
Cargador frontal de 100 kN	68 a 108	1,08
Cargador frontal de 150 kN	88	1,08
Cargador frontal de 200 kN	149	1,08
Cargador frontal de 300 kN	243	1,08
Cargador frontal de 400 kN	324	1,08
Cargador frontal de 500 kN	405	1,08
Cargador lateral	405	1,08
Grúa automóvil de 35 t	675	1,35
Grúa automóvil de 40 t	1.012,5	1,35
Grúa automóvil de 60 t	1.350	1,35
Grúa automóvil de 85 t	2.025	1,35
Grúa automóvil de 100 t	2.700	1,35
Grúa automóvil de 150 t	3375	1,35
Unidad tractor-plataforma rodante (Roll-trailer) 45 t	67,5	3,375
Unidad tractor-plataforma rodante (Roll-trailer) 60 t	81	3,375
Unidad tractor-plataforma rodante (Roll-trailer) 80 t	114,75	3,375
Unidad tractor-plataforma rodante (Roll-trailer) 100 t	141,75	3,375
Unidad tractor-plataforma rodante (Roll-trailer) 120 t	168,75	3,375
Apiladores de alcance (reach stacker)	405	1,08

*Figura 2 - Tabla 3.11. Cargas y presiones de los equipos de manipulación en las peores condiciones de trabajo.
Fuente: ROM 4.1-18 (1)*

Unidad tractor-semirremolque y sistemas multiplataforma-50 t	101,25	3,375
Unidad tractor-semirremolque y sistemas multiplataforma-65 t	87,75	3,375
Camión volquete de 200 t	877,5	1,35
Camión volquete de 240 t	1.012,5	1,35
Camión volquete de 400 t	1.485	1,35

*Figura 3 - Tabla 3.11. Cargas y presiones de los equipos de manipulación en las peores condiciones de trabajo.
Fuente: ROM 4.1-18 (2)*

Los pavimentos deben seguir unas características superficiales y unos mínimos establecidos por la normativa, representados en la siguiente Figura 4:

USO COMERCIAL Zonas de almacenamiento de Contenedores	VALOR REGULARIDAD SUPERFICIAL (mm de Regla de 3 m) VALOR DE MACROTEXTURA SUPERFICIAL (mm) VALOR MÍNIMO DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (Índice CRT %)			
	Tipo de Zona			
	Tipo de Pavimento	ZONA DE OPERACIONES	ZONA DE ALMACENAMIENTO	
			Hasta 3 alturas	Más de 3 alturas
				ZONAS COMPLEMENTARIAS
MEZCLA BITUMINOSA EN CALIENTE	<3 mm >0,7mm >45	<6 mm --- ---	<4 mm --- ---	<3 mm >1mm >45
PAVIMENTO DE HORMIGÓN	<4 mm 1,5mm>Text>0,7mm ---	<6 mm --- ---	<4 mm --- ---	<4 mm >1mm >45
ADOQUÍN PREFABRICADO DE HORMIGÓN	<4 mm --- >45	<8 mm --- ---	<6 mm --- ---	<4 mm --- >45

Figura 4 – Tabla 7.12. Zonas de almacenamiento de mercancía general para uso comercial. Fuente: ROM 4.1-18

En cuarto lugar, hay que determinar y clasificar la carga calculada, como alta, media o baja.

Qv KN Pv 1MPa= 10 kg/cm ²	Carga equipos manipulación	Carga almacenamiento
Zona de almacenamiento. Graneles sólidos		
BAJA	Qv < 160KN y Pv < 1,1MPa ^a	Pv < 0,25 MPa Graneles ordinarios
MEDIA	Qv ≥ 160KN ó Pv ≥ 1,1 MPa ^a	Pv ≥ 0,25 MPa Graneles pesados
Zona de almacenamiento. Mercancía general		
BAJA	Qv < 160KN y Pv < 1,1MPa simultáneamente	No paletizada
MEDIA	Qv ≤ 700 KN y Pv > 1,3 MPa ó Qv ≥ 160 KN y Pv < 1,3 MPa	Qv < 160 KN y Pv < 1,1 MPa Paletizada ordinaria
ALTA	Qv > 700 KN y Pv > 1,3 MPa simultáneamente	Qv ≥ 160KN y Pv ≥ 1,1 MPa Paletizada pesada
Zona de almacenamiento. Contenedores		
BAJA	Qv < 160KN y Pv < 1,1MPa simultáneamente	Qv < 350 KN y Pv < 4 MPa Hasta 2 alturas
MEDIA	Qv ≤ 700 KN y Pv > 1,3MPa ó 160 KN ≤ Qv y Pv < 1,3 MPa	Qv ≤ 1.100 KN y Pv > 9 MPa ó 350 KN ≤ Qv y Pv < 9 MPa ^c
ALTA	Qv > 700 KN y Pv > 1,3 MPa simultáneamente	Qv > 1.100KN y Pv > 9 MPa Solo cont. en 4-5-6 alturas
Zona de almacenamiento. Semirremolques ^d		
BAJA	Qv < 160KN y Pv < 1,1MPa simultáneamente	
MEDIA	Qv ≤ 700 KN y Pv > 1,3 MPa ó Qv ≥ 160 KN y Pv < 1,3 MPa	
ALTA	Qv > 700 KN y Pv > 1,3 MPa simultáneamente	Qv = 80KN y Pv = 45,5 MPa En cada apoyo

^a está incluido el caso en que la manipulación se realice exclusivamente por medios continuos.
^b caso de grúas automóviles y caso de camiones volquete de 20, 24 y 40 t.
^c todas las situaciones de almacenamiento, salvo las indicadas para cargas BAJA y ALTA.
^d no tiene efectos prácticos en la determinación de la categoría del tráfico, pues la carga de cálculo de almacenamiento es siempre ALTA.

Figura 5 - Tabla 3.16. Cargas de cálculo en zonas de almacenamiento. Fuente: ROM 4.1-18

En quinto lugar, se debe determinar la intensidad de uso. La intensidad de uso, junto con las cargas aplicadas es el dato fundamental para definir la categoría del tráfico en una superficie portuaria. Se clasifica en tres categorías y esta clasificación marca los límites inferiores y superiores de los intervalos, estos variarán dependiendo de la zona portuaria que se está analizando y el tipo de mercancía.

En el caso específico de las terminales de contenedores, se corrobora una disminución de las cargas transmitidas según va aumentando la altura de apilamiento. Por ello, se debe aplicar un coeficiente reductor, para establecer la carga característica cuando hay varias alturas:

$$C = P_c * i * k_i$$

Donde:

C: expresa la carga característica a considerar sobre el pavimento en el apilamiento de contenedores.

P_c : peso característico del contenedor.

i: número de alturas del almacenamiento

k_i : coeficiente corrector en función de las alturas de almacenamiento.

Sin embargo, en la ROM 4.1-18 se menciona que a falta de datos, en cualquier caso la intensidad de uso se clasificará como MEDIA. Como en el Anejo B de la ROM 4.1-18, no aparece ninguna información del Puerto de Alicante, ni ningún otro puerto similar que se pueda extrapolar, se decide clasificar la intensidad en todas las cargas de las alternativas como MEDIAS.

En sexto lugar se debe definir la categoría del tráfico según la carga de cálculo y la intensidad de uso de la superficie a considerar:

Intensidad de uso	Carga de cálculo		
	ALTA	MEDIA	BAJA
ELEVADA	T0	T1	T1
MEDIA	T1	T1	T2
REDUCIDA	T1	T2	T2

Figura 6 - Tabla 3.17. Categorías de tráfico. Fuente: ROM 4.1-18

En séptimo lugar, se debe conocer las capas inferiores al firme. Sin embargo, según estas Recomendaciones no es necesario considerar la categoría de la explanada. Esto es debido a que en todos los casos es obligatorio alcanzar una capacidad portante mínima en la superficie de apoyo del pavimento, ($E_{v2} \leq 300$ MPa). Por ello se asumirá ese valor directamente en todas las alternativas.

Por último, el octavo paso es la elección del tipo de firme. Teniendo los niveles de exigencia de durabilidad en las categorías de tráfico, podemos asociar un espesor de pavimento a los objetivos de explotación del diseñador.

DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS		Durabilidad o Fiabilidad ante deterioros		
		Sin deterioros (1% de fallos). Con máxima funcionalidad	Con deterioros. Con alta funcionalidad (10% de fallos)	Con deterioros. Con funcionalidad aceptable (20% de fallos)
TRÁFICO	T0	Espesor Máximo	Espesor Máximo	Espesor Medio
	T1	Espesor Máximo	Espesor Medio	Espesor Medio
	T2	Espesor Medio	Espesor Medio	Espesor Mínimo

Figura 7 - Tabla 6.2. Dimensionamiento del firme. Fuente: ROM 4.1-18

Finalmente, toda esta selección debe apoyarse en un análisis económico global de las diversas opciones, considerando costes de construcción, de conservación y la afección de la explotación. Por ello, en cada alternativa se elegirá el tipo de pavimento más acorde a las necesidades de cada opción.

3. ALTERNATIVAS DE ALMACENAMIENTO

El siguiente punto se centrará en la parte más importante del estudio, las diferentes alternativas que pueden implantarse en la terminal a la hora de establecer el subsistema de almacenamiento. Las propuestas se reducen a subsistemas de almacenamiento donde predominan el Straddle Carrier (SC), el Rubber Tyred Gantry (RTG) o el Rail Mounted Gantry (RMG).

3.1. STRADDLE CARRIER (SC)

Un Straddle Carrier es una carretilla en forma de U invertida, que transporta los contenedores entre sus patas, para ello utiliza un spreader adaptado, similar al de las grúas pórticos. Transporta los contenedores paralelamente a la dirección en la que se desplaza, y puede elevarlos varias alturas.



Figura 8 - Straddle Carrier. Fuente: (Endo f an era: The last Kalmar classic straddle Carrier leaves the factory, s.f.)

Se destaca por su buena distribución de pesos, comparada con a una carretilla común, ya que transporta la carga centrada y sobre 4 ruedas, 5 en algunos casos, a cada lado. También es muy maniobrable, ya que puede realizar todos los movimientos que son necesarios en una terminal para el traslado de contenedores, su almacenamiento, recepción y entrega de camiones externos, incluso la carga y descarga de ferrocarriles, a pesar de que esta última acción, no es una de las tareas destacables del Straddle Carrier.

Los contenedores manipulados por SC deben seguir las siguientes características, debido a las especificaciones de la maquinaria:

- Estar distribuidos en filas separadas entre 1,20 y 1,50 m; con un sistema de apilado (2+1) ó (3+1). El “+1” indica un último nivel de apilado donde no debe haber ningún obstáculo.
- Agruparse en bloques de contenedores con una longitud de 14 a 16 TEUs.
- Entre bloques debe haber una separación de 16,00 a 20,00 m para permitir los movimientos realizados por los SC.

La característica más destacable de este método de almacenamiento es la autosuficiencia que éste muestra, es decir, no tiene la necesidad del uso de un subsistema alternativo de interconexión, ya que dichas funciones son cubiertas por el propio SC.

4.1.1. Capacidad de almacenamiento

$$C_p = [V_a] * \left[\frac{365}{T_e} \right] * K_p$$

V_a: Volumen aprovechable de la zona de almacenamiento de la terminal $\rightarrow V_a = S * H$

S: En esta alternativa se cuenta con 8 bloques de 8 filas y 16 columnas $\rightarrow S = 8 * 128 = 1.024$

H: En este caso al tratarse de SC, como se menciona anteriormente puede elegirse entre una altura (2+1) o (3+1). En esta ocasión se ha elegido (2+1), por lo tanto $\rightarrow H = 2$

$$V_a = S * H \rightarrow 1024 * 2 = 2.024$$

K_p: 1,4 días

T_e: 12 días

Los valores de K_p y T_e, por falta de información, se han extrapolado de los mismos valores en la alternativa de RTG.

Agrupando todos los cálculos:

$$C_p = [V_a] * \left[\frac{365}{T_e} \right] * K_p \rightarrow 2024 * \left[\frac{365}{12} \right] * 1,4 = \mathbf{88.188,66 TEUs/año}$$

Por lo tanto, la capacidad de almacenamiento de la terminal de contenedores del Muelle 11 mediante SC es de 88.188,66 TEUs/año, mientras que la capacidad por línea de atraque es de 468.000 TEUs/año.

Comparando ambas capacidades, podemos comprobar que la capacidad de almacenamiento es la limitante.

4.1.2. Disposición del suelo

La alternativa del Straddle Carrier tiene:

En primer lugar, se dispone de una disposición paralela al muelle, generando así un flujo circular y evitar el cruce de trayectorias entre la maquinaria.

En segundo lugar, un reparto del suelo tal que así:

$$- \text{ Almacenamiento: } 27.589,273 + 8.639,26 = 36.228,533 \text{ m}^2$$

Como se ha mencionado anteriormente, se tratan de ocho bloques, de los cuales uno está reservado para contenedores Reefer, repartidos por toda la terminal. También están indicados los trayectos permitidos por los equipos para transportar la mercancía por todo el muelle.

- Auxiliar: $945,3236 + 774,2999 + 1.101,482 + 981,371 = 3.802,4765 \text{ m}^2$

Donde las oficinas ocupan $1.101,482 \text{ m}^2$; y los contenedores vacíos disponen de los $2.700,9945 \text{ m}^2$ restantes junto al espacio reservado para el estacionamiento/espera de los camiones. Este último espacio está dispuesto enfrente de la entrada para facilitar el tráfico de carretera y evitar acumulaciones en los accesos causadas por camiones que estén esperando a recibir/entregar la carga o alguna indicación.

- Operaciones: $21.259,7675 \text{ m}^2$

Donde se dispone la viga cantil y las grúas pórtico necesarias para la carga/descarga de la mercancía.

Para más información, ir al Documento nº 2: Planos, en concreto el Plano nº2.

4.1.3. Equipos empleados

Con un sistema de SC, se aprovecha mejor el espacio comparando con otros sistemas de almacenamiento no estudiados en el ejercicio como las plataformas, carretillas o reachstackers. Cuando se trata de una terminal donde no se requiere un uso minucioso de las superficies disponibles, debido a que su uso está entre los 100.000 y 400.000 contenedores al año, se logran grandes ventajas, como gran velocidad y flexibilidad de operación. Sin embargo, su coste de mantenimiento es elevado y al mismo tiempo, su altura de almacenamiento se ve limitada por las especificaciones de la maquinaria.

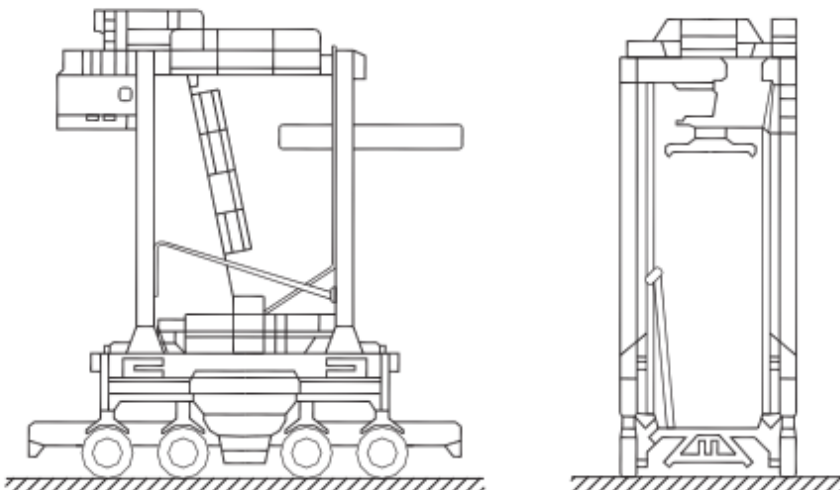
En esta alternativa se estudia un sistema directo, ya que como se ha mencionado anteriormente, los SC son capaces de realizar el transporte horizontal de los contenedores entre el área de almacenamiento y el área de operación ellos mismos, sin necesidad de apoyarse en otros equipos auxiliares.

Los SC son considerados equipos de movilidad no restringida, por ello en el apartado 4.1.4; se tomarán las medidas necesarias, respecto a las cargas que transmiten al pavimento.

Como se puede observar en la Figura 9, se exponen los tipos de SC más comunes del catálogo. Entre los cuales se ha elegido una carretilla puente tipo lanzadera por su capacidad de carga máxima y su altura de elevación máxima de dos alturas. En concreto se ha elegido el tipo 500/2. Cuyas especificaciones se detallan en la Figura 9, pero se destaca su capacidad de elevación de 500 KN.

Para este caso en concreto, se necesitará un Straddle Carrier por pastilla de contenedores, en total serán ocho SC para poder asegurar una productividad adecuada de la terminal.

C. CARRETILLAS PUENTE, PÓRTICO O LANZADERA



				TIPO DE CARRETILLA					
				LANZADERA		PUENTE O PÓRTICO			
Capacidad de elevación de carga (kN)/Máxima altura de elevación (nº contenedores)				400/2	500/2	400/3	400/4	500/3	500/4
CARACTERÍSTICAS EQUIPO	Peso (kN)			430	450	600	660	620	680
	Tipo de sistema de ejes			simple	simple	tándem	tándem	tándem	tándem
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA DE EJES MÁS CARGADO	Separación entre centros de ruedas (L_1) (m)			4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40
	Separación entre centros de ruedas en tándem (L_2) (m)			-----	-----	2,10	2,10	2,10	2,10
	Dimensiones área de contacto (cxc) (mxm)			3)	3)	3)	3)	3)	3)
MÁXIMA CARGA POR RUEDA EJE MÁS CARGADO (kN)	Sin carga	Vertical	110	115	75	85	80	85	
	En condiciones de operación	Vertical	200	240	125	135	140	150	
		Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	
CARGA VERTICAL UNIFORME EQUIVALENTE (kN/m ²)				150	200	150	150	200	200

Figura 9 - Tabla 3.6. Configuración y cargas características transmitidas por equipos portuarios auxiliares de transporte y depósito de movilidad no restringida. Fuente: ROM 1.4-18

4.1.4. Pavimento

Se empieza el análisis individual de la alternativa desde el punto 3, debido a que los dos primeros puntos y el punto número 7 son idénticos en todas las alternativas y ya se han determinado en la explicación.

Distinción de cargas: Se distinguen las cargas de manipulación y las cargas de almacenamiento las cuales se determinarán a continuación.

Para la carga de manipulación, se puede observar en la Figura 3, una carretilla pórtico o lanzadera tiene una carga máxima en cada punto de apoyo de 324 kN y una presión de contacto máxima de 1,33 MPa.

Por otra parte, como se menciona anteriormente, al no disponer de datos concretos de partida en el dimensionamiento de los firmes en las zonas de almacenamiento, con las consideraciones mencionadas en la ROM 4.1-18, se calcula una carga de almacenamiento aproximada de 300 KN por nivel de apilamiento en un área de $0.356 \times 0.324 \text{ m}^2$ y ejerciendo una presión de 2.5 MPa.

Por ello, en esta alternativa, al estar considerando dos alturas de apilamiento, se tendrá una carga de almacenamiento de 600 KN y una presión de 5 MPa. Lo que resulta en una carga de categoría Media en ambos tipos de carga como se muestra en la Figura 10 - Tabla 3.16. Cargas de cálculo en zonas de almacenamiento. Fuente: ROM 4.1-18Figura 10.

Qv KN Pv MPa= 10 kg/cm ²	Carga equipos manipulación	Carga almacenamiento
Zona de almacenamiento. Graneles sólidos		
BAJA	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}^a$	$P_v < 0,25 \text{ MPa}$ Graneles ordinarios
MEDIA	$Q_v \geq 160 \text{ KN}$ ó $P_v \geq 1,1 \text{ MPa}^b$	$P_v \geq 0,25 \text{ MPa}$ Graneles pesados
Zona de almacenamiento. Mercancía general		
BAJA	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$ simultáneamente	No paletizada
MEDIA	$Q_v \leq 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ ó $Q_v \geq 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,3 \text{ MPa}$	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$ Paletizada ordinaria
ALTA	$Q_v > 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ simultáneamente	$Q_v \geq 160 \text{ KN}$ y $P_v \geq 1,1 \text{ MPa}$ Paletizada pesada
Zona de almacenamiento. Contenedores		
BAJA	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$ simultáneamente	$Q_v < 350 \text{ KN}$ y $P_v < 4 \text{ MPa}$ Hasta 2 alturas
MEDIA	$Q_v \leq 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ ó $160 \text{ KN} \leq Q_v$ y $P_v < 1,3 \text{ MPa}$	$Q_v \leq 1.100 \text{ KN}$ y $P_v > 9 \text{ MPa}$ ó $350 \text{ KN} \leq Q_v$ y $P_v < 9 \text{ MPa}^c$
ALTA	$Q_v > 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ simultáneamente	$Q_v > 1.100 \text{ KN}$ y $P_v > 9 \text{ MPa}$ Solo cont. en 4-5-6 alturas
Zona de almacenamiento. Semirremolques ^d		
BAJA	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$ simultáneamente	
MEDIA	$Q_v \leq 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ ó $Q_v \geq 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,3 \text{ MPa}$	
ALTA	$Q_v > 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ simultáneamente	$Q_v = 80 \text{ KN}$ y $P_v = 45,5 \text{ MPa}$ En cada apoyo

^a está incluido el caso en que la manipulación se realice exclusivamente por medios continuos.
^b caso de grúas automóbiles y caso de camiones volquete de 20, 24 y 40 t.
^c todas las situaciones de almacenamiento, salvo las indicadas para cargas BAJA y ALTA.
^d no tiene efectos prácticos en la determinación de la categoría del tráfico, pues la carga de cálculo de almacenamiento es siempre ALTA.

Figura 10 - Tabla 3.16. Cargas de cálculo en zonas de almacenamiento. Fuente: ROM 4.1-18

Determinación de la intensidad de uso: Debido a la falta de datos, se determina una intensidad MEDIA debido a lo explicado anteriormente.

Categoría de tráfico: T1= Tráfico medio

Intensidad de uso	Carga de cálculo		
	ALTA	MEDIA	BAJA
ELEVADA	T0	T1	T1
MEDIA	T1	T1	T2
REDUCIDA	T1	T2	T2

Figura 11 - Tabla 3.17. Categorías de tráfico. Fuente ROM 4.1-18

Elección del tipo de firme:

Se asume un nivel de durabilidad o fiabilidad ante fallos del de un 10% de fallos, debido a que no se elige un pavimento de hormigón armado ni hormigón con fibra, los cuales conllevarían una durabilidad de máxima funcionalidad. Por lo tanto, se opta por un espesor medio de un pavimento de hormigón vibrado HF 4,5.

DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS		Durabilidad o Fiabilidad ante deterioros		
		Sin deterioros (1% de fallos). Con máxima funcionalidad	Con deterioros. Con alta funcionalidad (10% de fallos)	Con deterioros. Con funcionalidad aceptable (20% de fallos)
TRÁFICO	T0	Espesor Máximo	Espesor Máximo	Espesor Medio
	T1	Espesor Máximo	Espesor Medio	Espesor Medio
	T2	Espesor Medio	Espesor Medio	Espesor Mínimo

Figura 12 - Tabla 6.2. Dimensionamiento de pavimentos. Fuente: ROM 4.1-18

USO COMERCIAL ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES (Zona de operación con Straddle Carrier)		
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5 ⁽¹⁾		
MÁXIMO 0,20 m	MEDIO 0,20 m	MÍNIMO 0,20 m
II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO		
MÁXIMO 0,15 m	MEDIO 0,15 m	MÍNIMO 0,15 m
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS		
MÁXIMO 0,15 m	MEDIO 0,15 m	MÍNIMO 0,15 m
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽²⁾		
MÁXIMO ⁽²⁾ 0,12 m	MEDIO ⁽²⁾ 0,10 m	MÍNIMO 0,10 m
V: MEZCLAS BITUMINOSAS DE ALTO MÓDULO		
MÁXIMO 0,14 m	MEDIO 0,13 m	MÍNIMO 0,13 m
VI: MEZCLA BITUMINOSA		
MÁXIMO 0,24 m	MEDIO 0,22 m	MÍNIMO 0,21 m
Notas: (1): En las zonas de depósito de los contenedores existe la posibilidad, con los espesores indicados, de que se produzcan fisuras, que se consideran admisibles si dichas zonas van a ser empleadas para depósito y no para la circulación de los equipos. (2): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m. (3): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20(0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).		

Figura 13 - Tabla secciones estructurales normalizadas para uso comercial, almacenamiento de contenedores (Zona de operación con Straddle Carrier). Fuente: ROM 4.1-18

Finalmente, se decide por escoger un pavimento de hormigón vibrado HF 4,5 y un espesor de 0,20 m. en toda la explanada, debido a que no hay diferenciación entre zonas para un patio de Straddle Carriers.

4.2. RUBBER TYRED GANTRY (RTG)

Un Rubber Tyred Gantry o Puente grúa sobre neumáticos, consiste en dos pórticos paralelos sobre los que se desplaza un puente grúa. Son grúas autopropulsadas que se desplazan siguiendo trayectorias rectilíneas sobre las pilas de contenedores que forman ellas mismas entre sus patas.

Los contenedores manipulados por RTG deben seguir las siguientes características, debido a las especificaciones de la maquinaria:

- Agrupaciones de contenedores rectangulares y alargados.
- Con una longitud del bloque variante, dependiendo del buque tipo que atraque en el muelle.
- La anchura del bloque suele ser (6+1), siendo el “+1” el carril por el cuál circula el medio de interconexión. Normalmente suelen ser camiones externos o internos.
- La altura de apilado suele ser entre (3+1) o (5+1). Sin embargo, también se pueden encontrar RTG con medidas superiores.
- Se dispone de una distancia mínima entre bloques, para asegurar la maniobrabilidad de la maquinaria.

La característica más destacable de este método de almacenamiento es la gran densidad de apilado que se obtiene, aumentado conforme va creciendo el tamaño de la pila.



Figura 14 - Rubber Tyred Gantry. Fuente: Grúas apiladoras de contenedores sobre neumáticos, s.f.

4.2.1. Capacidad de almacenamiento:

V_a: Volumen aprovechable de la zona de almacenamiento de la terminal $\rightarrow V_a = S * H$

S: Se cuenta con 9 bloques de 14 filas y 6 columnas $\rightarrow S = 9 * (14 * 6) = 756$

H: En este caso al tratarse de RTG, como se menciona anteriormente puede elegirse entre una altura (5+1) o (3+1). En esta ocasión se ha elegido (5+1), por lo tanto $\rightarrow H = 5$

$$V_a = S * H \rightarrow 756 * 5 = 3.780$$

K_p: 1,2 días

T_e: 10 días

Agrupando todos los cálculos:

$$C_p = [V_a] * \left[\frac{365}{T_e} \right] * K_p \rightarrow 3.780 * \left[\frac{365}{10} \right] * 1,2 = \mathbf{165.564,00 TEUs/año}$$

Por lo tanto, la capacidad de almacenamiento de la terminal de contenedores del Muelle 11 mediante RTG es de 165.564,00 TEUs/año, mientras que la capacidad por línea de atraque es de 468.000 TEUs/año.

Comparando ambas capacidades, podemos comprobar que la capacidad de almacenamiento es la limitante.

4.2.2. Disposición del suelo

La alternativa del Rubber Tyred tiene:

En primer lugar, una disposición perpendicular al muelle, generando así una mayor productividad debido a los cortos desplazamientos que debe realizar la maquinaria.

En segundo lugar, un reparto del suelo tal que así:

- *Almacenamiento: 28020.9437 m²*

Como se ha mencionado anteriormente, se tratan de nueve bloques, en los cuales los espacios más cercanos a la entrada/salida de la terminal están reservados para contenedores Reefer. También están indicados los trayectos permitidos por los camiones exteriores e interiores para transportar la mercancía.

- *Auxiliar: 702,2244 + 702,2244 + 702,2244 + 1.054,7657 + 853,3416 + 1.293,8959 + 4.025,9615 = 9.334,638 m²*

Donde las oficinas ocupan 1.054,7657 m²; y los contenedores vacíos disponen de los 8.279,8723 restantes junto al espacio reservado para el estacionamiento/espera de los camiones. Los contenedores vacíos están repartidos entre ocho bloques de 10 contenedores, una fila de 17 contenedores individuales y un bloque de 120 en la esquina superior derecha.

- Operaciones: 21259.062 m²

Donde se dispone la viga cantil y las grúas pórtico necesarias para la carga/descarga de la mercancía.

Para más información, ir al Documento nº 2: Planos, en concreto el Plano nº3.

4.2.3. Equipos empleados

Las grúas apiladoras de contenedores sobre neumáticos presentan una excelente amortiguación sobre el péndulo, también se caracterizan por tener buena visibilidad debido a la falta de travesaño de la polea de cable ya que tienen un posicionamiento exacto del bastidor de izado.

También se caracterizan por desplazar la carga sin sacudidas y tener un mejor comportamiento durante sus operaciones a gran velocidad durante temporales de vientos.

A pesar de tener una optimización para la automatización de la terminal, los RTG necesitan cabezas tractoras como sistema de interconexión entre el muelle y el patio, por ello estos equipos también se tendrán en cuenta para el cálculo de las cargas pertinentes en el apartado 4.2.4

Los RTG son considerados equipos de movilidad restringida, por ello en el apartado 4.2.4, se tomarán las medidas necesarias, respecto a las cargas que transmiten al pavimento. Sin embargo, las cabezas tractoras son considerados equipos de movilidad no restringida.

Como se puede observar en la Figura 15, se exponen los tipos de RTG más comunes. Entre los cuales se ha elegido un pórtico sobre neumáticos con una altura 5+1, el cual permite hacer apilamientos de contenedores en bloques de 5 alturas dejando un espacio libre para el manejo de la carga.

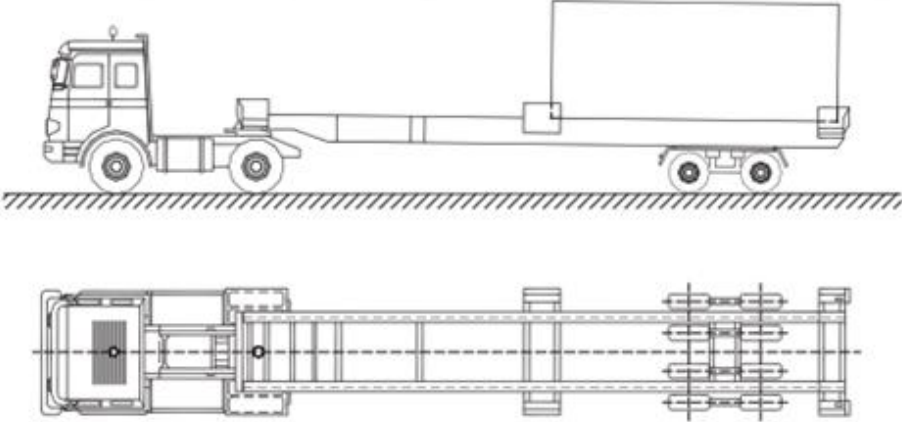
En la Figura 16 se puede observar los dos tipos más habituales de cabezas tractoras utilizadas en las infraestructuras del puerto como medio de interconexión. En concreto, para este estudio, el tipo seleccionado se ha elegido por su sistema de ejes y su máxima carga por rueda.

Para este caso en concreto, se necesitará un RTG por pastilla de contenedores, en total serán 8 equipos para poder asegurar una productividad elevada de la terminal.

TIPO DE PÓRTICO			SOBRE NEUMÁTICOS (RTG)		SOBRE CARRILES (RMG) ⁸⁾	
CARACTERÍSTICAS PÓRTICO	Capacidad de carga bajo spreader (kN)		400		400-500	
	Máx. Altura de elevación bajo spreader	n° contenedores	3+1	4+1	5+1	3+1 a 8+1
		m	12,5	15,5	18,5	12,5 a 28,0
	Peso (kN)		800	1.200	1.500	1.600-3.500 ⁹⁾
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Distancia entre ejes bandas circular (G ₁)	n° contenedores	5+calzada	6+calzada	7+calzada	6 a 20
		m	20,7	23,5	26,5	20,7 a 60
	Alcance de voladizos (G ₂)	n° contenedores	-	-	-	0 a 3 en uno o ambos lados
		m	-	-	-	0 a 15 en uno o ambos lados
	Separación entre patas (W) (m)		7,4	7,4	7,4	15-17
	N° ruedas por pata (n)		1 ¹⁾	2 ²⁾	2 ²⁾	2 a 4 ⁹⁾
	Separación de ruedas (S) (m)		-	2,5	2,5	1,1 a 1,5
	Distancia entre topes (B) (m)		11	14	14	20 a 25
Dimensiones del área de contacto (cxc) (mxm)		3)	3)	3)	---	

Figura 15 - Tabla 3.10. Configuración y cargas características transmitidas por pórtico sobre neumáticos (RTG) o carriles (RMG) para áreas de almacenamiento. Fuente: ROM 4.1-18

D. UNIDADES TRACTOR-SEMIREMOLQUE Y SISTEMAS MULTIPLATAFORMA⁹⁾



			TIPO DE PLATAFORMA	
Capacidad de carga (kN)			500 ¹⁰⁾	650 ¹⁰⁾
CARACTERÍSTICAS EQUIPO	Peso (kN)		65-80	85-95
	Tipo de sistema de ejes		Simple	tándem
	Longitud (m)		14,10	14,15
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA DE EJES MÁS CARGADO	Nº de ruedas (N)		4	8
	Separación entre centros de ruedas internas (L _i) (m)		1,70	1,70
	Separación entre centros de ruedas externa e internas (L _e) (m)		0,40	0,40
	Separación entre centros de ruedas en tándem (L _t) (m)		-----	1,30
	Dimensiones área de contacto (cxc) (mxm)		3)	3)
MÁXIMA CARGA POR RUEDA EJE MÁS CARGADO (kN)	Sin carga	Vertical	10	6
	En condiciones de operación	Vertical	75-70	65
		Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert
CARGA VERTICAL UNIFORME EQUIVALENTE (kN/m²)			15	15

Notas:

1) Cuando se dan rangos de valores para un tipo de carretillas elevadoras es función de los dispositivos o sistemas de elevación de la carga que pueden incorporar. En general, los valores menores se corresponden con horquillas y los mayores con sistemas laterales de elevación o spreader superior.

2) Los valores mayores corresponden a equipos para manipulación de contenedores vacíos mediante spreader lateral o superior.

3) Para obtener las dimensiones del área de contacto pueden considerarse presiones de contacto del orden de 800 kN/m².

4) Los apiladores de alcance son equipos que permiten manipular cargas que se encuentran situadas alejadas del chasis del equipo. Particularmente, en el caso de los contenedores o plataformas permiten su manipulación de los que se encuentran situados en las pilas 2ª y 3ª sin necesidad de mover los de la primera. Por dicha razón estos equipos se definen normalmente por su capacidad de elevación de carga situada en la primera, segunda y tercera pila o vía. Sin embargo, los apiladores de alcance para la manipulación de cargas fraccionadas mediante abrazaderas se definen por su capacidad de elevación de carga con mínimo alcance.

5) Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación de contenedores vacíos.

6) Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación de carga fraccionada.

7) Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación de contenedores cargados.

8) Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación intermodal (contenedores y cajas móviles sobre plataformas o ferrocarril).

9) Las plataformas portuarias, también denominadas chasis, se distinguen de las de carretera fundamentalmente por el peso que pueden soportar. El peso máximo por carretera no suele superar los 300 kN de carga útil, dependiendo de cada país. Sin embargo, en los puertos al no regir el principio de pesos máximos establecidos para los camiones, una plataforma puede llegar a cargar dos contenedores de 20' ó uno de 40 ó 45'. Estos equipos suelen ser remolcados por unidades tractoras con capacidad de elevación de la 5ª rueda de la plataforma de 250 a 300 kN y una capacidad de remolque de hasta 800 kN. En el caso de sistemas multiplataformas son necesarias unidades tractoras con mayor capacidad de remolque. Las cargas por eje transmitidas por estas unidades tractoras son menores que las transmitidas por las plataformas o chasis por lo que pueden no tomarse en consideración específicamente.

10) Cuando se dan rangos de valores, los primeros están asociados con semirremolques y los segundos con plataformas para sistemas multiplataforma.

Figura 16 - Tabla 3.6. Configuración y cargas características transmitidas por equipos portuarios auxiliares de transporte y depósito de movilidad no restringida (continuación). Fuente: ROM 4.1-18

4.2.4. Pavimento

Se inicia el análisis individual de la alternativa desde el punto 3, debido a que los dos primeros puntos y el punto número 7 son idénticos en todas las alternativas y ya se han determinado en la explicación.

Distinción de cargas: Se distinguen las cargas de manipulación y las cargas de almacenamiento las cuales se determinarán a continuación.

Almacenamiento: Como se menciona anteriormente, al no disponer de datos concretos de partida en el dimensionamiento de los firmes en las zonas de almacenamiento, con las consideraciones mencionadas en la ROM 4.1-18 para 5 alturas, se considerará una carga de 1.485 KN y una presión de 12,1 MPa

Manipulación: Por otra parte, como se puede observar en la Figura 4, una unidad tractor-semirremolque y/o sistemas multiplataformas de 60 t, tiene una carga máxima en cada punto de apoyo de 87,75 KN y una presión de contacto máxima de 3,375 MPa.

Por ello, en esta alternativa, al estar considerando cinco alturas de apilamiento, se tendrá una carga de almacenamiento de categoría Alta y una carga de manipulación de categoría Media como se muestra en la Figura 17.

Qv KN Pv MPa= 10 kg/cm ²	Carga equipos manipulación	Carga almacenamiento
Zona de almacenamiento. Graneles sólidos		
BAJA	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}^a$	$P_v < 0,25 \text{ MPa}$ Graneles ordinarios
MEDIA	$Q_v \geq 160 \text{ KN}$ ó $P_v \geq 1,1 \text{ MPa}^b$	$P_v \geq 0,25 \text{ MPa}$ Graneles pesados
Zona de almacenamiento. Mercancía general		
BAJA	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$ simultáneamente	No paletizada
MEDIA	$Q_v \leq 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ ó $Q_v \geq 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,3 \text{ MPa}$	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$ Paletizada ordinaria
ALTA	$Q_v > 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ simultáneamente	$Q_v \geq 160 \text{ KN}$ y $P_v \geq 1,1 \text{ MPa}$ Paletizada pesada
Zona de almacenamiento. Contenedores		
BAJA	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$ simultáneamente	$Q_v < 350 \text{ KN}$ y $P_v < 4 \text{ MPa}$ Hasta 2 alturas
MEDIA	$Q_v \leq 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ ó $160 \text{ KN} \leq Q_v$ y $P_v < 1,3 \text{ MPa}$	$Q_v \leq 1.100 \text{ KN}$ y $P_v > 9 \text{ MPa}$ ó $350 \text{ KN} \leq Q_v$ y $P_v < 9 \text{ MPa}^c$
ALTA	$Q_v > 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ simultáneamente	$Q_v > 1.100 \text{ KN}$ y $P_v > 9 \text{ MPa}$ Solo cont. en 4-5-6 alturas
Zona de almacenamiento. Semirremolques ^d		
BAJA	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$ simultáneamente	
MEDIA	$Q_v \leq 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ ó $Q_v \geq 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,3 \text{ MPa}$	
ALTA	$Q_v > 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ simultáneamente	$Q_v = 80 \text{ KN}$ y $P_v = 45,5 \text{ MPa}$ En cada apoyo

^a está incluido el caso en que la manipulación se realice exclusivamente por medios continuos.
^b caso de grúas automóbiles y caso de camiones volquete de 20, 24 y 40 t.
^c todas las situaciones de almacenamiento, salvo las indicadas para cargas BAJA y ALTA.
^d no tiene efectos prácticos en la determinación de la categoría del tráfico, pues la carga de cálculo de almacenamiento es siempre ALTA.

Figura 17 - Tabla 3.16. Cargas de cálculo en zonas de almacenamiento. Fuente: ROM 4.1-18

Como se menciona en la explicación, se debe seleccionar la carga más desfavorable. Por ello se tiene una carga de cálculo Alta.

Determinación de la intensidad de uso: Debido a la falta de datos, se determina una intensidad MEDIA debido a la explicación anterior.

Categoría de tráfico: T1= Tráfico medio

Intensidad de uso	Carga de cálculo		
	ALTA	MEDIA	BAJA
ELEVADA	T0	T1	T1
MEDIA	T1	T1	T2
REDUCIDA	T1	T2	T2

Figura 18 - Tabla 3.17. Categorías de tráfico. Fuente ROM 4.1-18

Elección del tipo de firme:

Se asume un nivel de durabilidad o fiabilidad ante fallos del de un 10% de fallos, debido a que no se ha elegido hormigón armado ni hormigón con fibras. Por lo tanto, se opta por un espesor medio de un pavimento de hormigón vibrado HF 4,5.

DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS		Durabilidad o Fiabilidad ante deterioros		
		Sin deterioros (1% de fallos). Con máxima funcionalidad	Con deterioros. Con alta funcionalidad (10% de fallos)	Con deterioros. Con funcionalidad aceptable (20% de fallos)
TRÁFICO	T0	Espesor Máximo	Espesor Máximo	Espesor Medio
	T1	Espesor Máximo	Espesor Medio	Espesor Medio
	T2	Espesor Medio	Espesor Medio	Espesor Mínimo

Figura 19 - Tabla 6.2. Dimensionamiento de pavimentos. Fuente: ROM 4.1-18

USO COMERCIAL ZONAS DE OPERACIÓN		
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5		
MÁXIMO 0,32 m	MEDIO 0,29 m	MÍNIMO 0,26 m
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO		
MÁXIMO 0,32 m	MEDIO 0,29 m	MÍNIMO 0,26 m
III: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO		
MÁXIMO 0,28 m	MEDIO 0,25 m	MÍNIMO 0,22 m
IV: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS		
MÁXIMO 0,25 m	MEDIO 0,22 m	MÍNIMO 0,20 m
V: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾		
MÁXIMO ⁽²⁾ 0,12 m	MEDIO ⁽²⁾ 0,10 m	MÍNIMO ⁽²⁾ 0,10 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 HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).		

Figura 20 - Tabla secciones estructurales normalizadas para uso comercial, zona de operaciones. Fuente: ROM 4.1-18

USO COMERCIAL ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES (5 alturas)		
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5 ⁽¹⁾		
MÁXIMO 0,64 m	MEDIO 0,61 m	MÍNIMO 0,57 m
II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO		
MÁXIMO 0,46 m	MEDIO 0,44 m	MÍNIMO 0,41 m
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS		
MÁXIMO 0,51 m	MEDIO 0,49 m	MÍNIMO 0,46 m
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽²⁾		
MÁXIMO ⁽³⁾ 0,12 m	MEDIO ⁽³⁾ 0,10 m	MÍNIMO 0,10 m
V: MEZCLAS BITUMINOSAS DE ALTO MÓDULO		
MÁXIMO 0,57 m	MEDIO 0,54 m	MÍNIMO 0,50 m
Notas: (1): En las zonas de depósito de los contenedores existe la posibilidad, con los espesores indicados, de que se produzcan fisuras, que se consideran admisibles si dichas zonas van a ser empleadas para depósito y no para la circulación de los equipos. (2): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m. En este tipo de pavimento es normal que se produzcan deformaciones del mismo. (3): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).		

Figura 21 - Tabla secciones estructurales normalizadas para uso comercial, almacenamiento de contenedores (5 alturas). Fuente: ROM 4.1-18

Finalmente, se decide por escoger un pavimento de hormigón vibrado HF 4,5 y un espesor de 0,29 m en la zona de operación, y un espesor de 0,61 m en la zona de almacenamiento.

4.3. RAIL MOUNTED GANTRY (RMG)

Un Rail Mounted Gantry o Puente grúa sobre raíles, son dos pórticos paralelos sobre los que se desplaza un puente grúa, parecidos al sistema RTG; sin embargo, este se desplaza sobre raíles y tiene unas dimensiones mayores. La cabina situada en el RMG, se mueve junto al spreader.

El sistema de interconexión suele disponerse de dos formas distintas, disponiendo los viales a los lados de los bloques apilados, mediante voladizos exteriores; o disponiendo de un vial en el centro del bloque.

Los contenedores manipulados por RMG deben seguir las siguientes características, debido a las especificaciones de la maquinaria:

- Los contenedores se agrupan en bloque rectangulares y muy largos.
- La longitud del bloque depende de las dimensiones del buque tipo que atraque en la terminal.
- Se suelen agrupar con alturas entre (3+1) y (8+1).
- La anchura de los bloques suele ser de hasta 20 contenedores. Lo que significa que es el sistema de máximo aprovechamiento de superficie.

Algunas desventajas de la utilización de un sistema de almacenamiento mediante RMGs, son las grandes sobrecargas transmitidas a la explanada y la existencia de los carriles, los cuales dificultan mucho, incluso imposibilitan, la reordenación ulterior del patio.



Figura 22 – Rail Mounted Gantry. Fuente: Grúas apiladoras de contenedores sobre raíles, s.f.

5.3.1. Capacidad de almacenamiento:

V_a: Volumen aprovechable de la zona de almacenamiento de la terminal $\rightarrow V_a = S * H$

S: Se cuenta con 8 bloques de 14 filas y 8 columnas $\rightarrow S = 8 * (14 * 8) = 896$ huellas

H: En este caso al tratarse de RTG, como se menciona anteriormente puede elegirse entre una altura (5+1) o (3+1). En esta ocasión se ha elegido (5+1), por lo tanto $\rightarrow H = 5$

$$V_a = S * H \rightarrow 896 * 5 = 4.480$$

K_p: 1 día

T_e: 8 días

Agrupando todos los cálculos:

$$C_p = [V_a] * \left[\frac{365}{T_e} \right] * K_p \rightarrow 4.480 * \left[\frac{365}{8} \right] * 1 = \mathbf{204.400,00 TEUs/año}$$

Por lo tanto, la capacidad de almacenamiento de la terminal de contenedores del Muelle 11 mediante RMG es de 204.400,00 TEUs/año.

Comparando ambas capacidades, podemos comprobar que la capacidad de almacenamiento es la limitante.

5.3.2. Disposición del suelo

La alternativa del Rail Mounted Gantry tiene:

En primer lugar, una disposición perpendicular al muelle, ya que así se aportan los beneficios mencionados anteriormente en el Apartado 4.2.2.

En segundo lugar, un reparto del suelo tal que así:

- *Almacenamiento:* 28.020,9437 m²

Como se ha mencionado anteriormente, se tratan de ocho bloques, en los cuales los espacios más cercanos a la entrada/salida de la terminal están reservados para contenedores fríos. También se indican los trayectos permitidos por camiones tanto exteriores como interiores.

- *Auxiliar:* 612,8877 + 616,6773 + 616,6773 + 1.089,8844 + 1.052,5015 + 3.809,8394 = 7.798,4676 m²

Donde las oficinas ocupan 1.052,5015 m²; y los contenedores vacíos disponen de los 6.745,9661 m² restantes junto al espacio reservado para el estacionamiento/espera de los camiones. Los contenedores vacíos están repartidos entre tres filas de 17 contenedores individuales, un bloque en la parte derecha del muelle de 39 contenedores y por último, un bloque de 120 en la esquina superior derecha.

- *Operaciones:* 21.259,0602 m²

Donde se dispone la viga cantil y las grúas pórtico necesarias para la carga/descarga de la mercancía.

Para más información, ir al Documento nº 2: Planos, en concreto el Plano nº4.

5.3.3. Equipos empleados

Normalmente estos equipos se utilizan en terminales con un tráfico muy elevado y que dispongan de un espacio muy reducido. También pueden llegar a utilizarse, en terminales con un tráfico ferroviario muy potente. Disponen de una limitación de movimientos debido a su circulación sobre raíles, sin embargo, son muy fáciles de automatizar. Por ello, son los equipos idóneos en los patios de terminales automatizadas.

Similar a la situación del RTG, a pesar de su idoneidad para la automatización de las terminales, los RMG como sistema de interconexión necesitan cabezas tractoras o equipos shuttle carriers, los cuales también se tendrán en cuenta para el cálculo de las cargas pertinentes en el apartado 5.2.4.

Los RMG son equipos de movilidad restringida, información relevante para el diseño del pavimento ya que dependiendo de las cargas transmitidas por los equipos de manipulación se seleccionará un pavimento u otro. Sin embargo, ambos equipos posibles para el sistema de interconexión como lo son las cabezas tractoras o los shuttle carriers, son equipos de movilidad no restringida.

Como se observa en la Figura 23 – Tabla 4.6.4.24. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por pórticos sobre neumáticos (RTG) o carriles (RMG) estándar por áreas de almacenamiento. Fuente: ROM 2.0-11Figura 23, la información ofrecida sobre RMG es bastante amplia sin llegar a concretar demasiado, por ello sólo aparece un tipo, esto se debe a la extensa tipología de estos equipos y sus diferentes fabricantes.

En la Figura 16 se puede observar los dos tipos más habituales de cabezas tractoras utilizadas en las infraestructuras del puerto como medio de interconexión. Se elige el mismo tipo que en la alternativa anterior.

Para este caso en concreto, se necesitará un RMG por pastilla de contenedores, en total serán 8 equipos para poder asegurar una productividad elevada de la terminal.

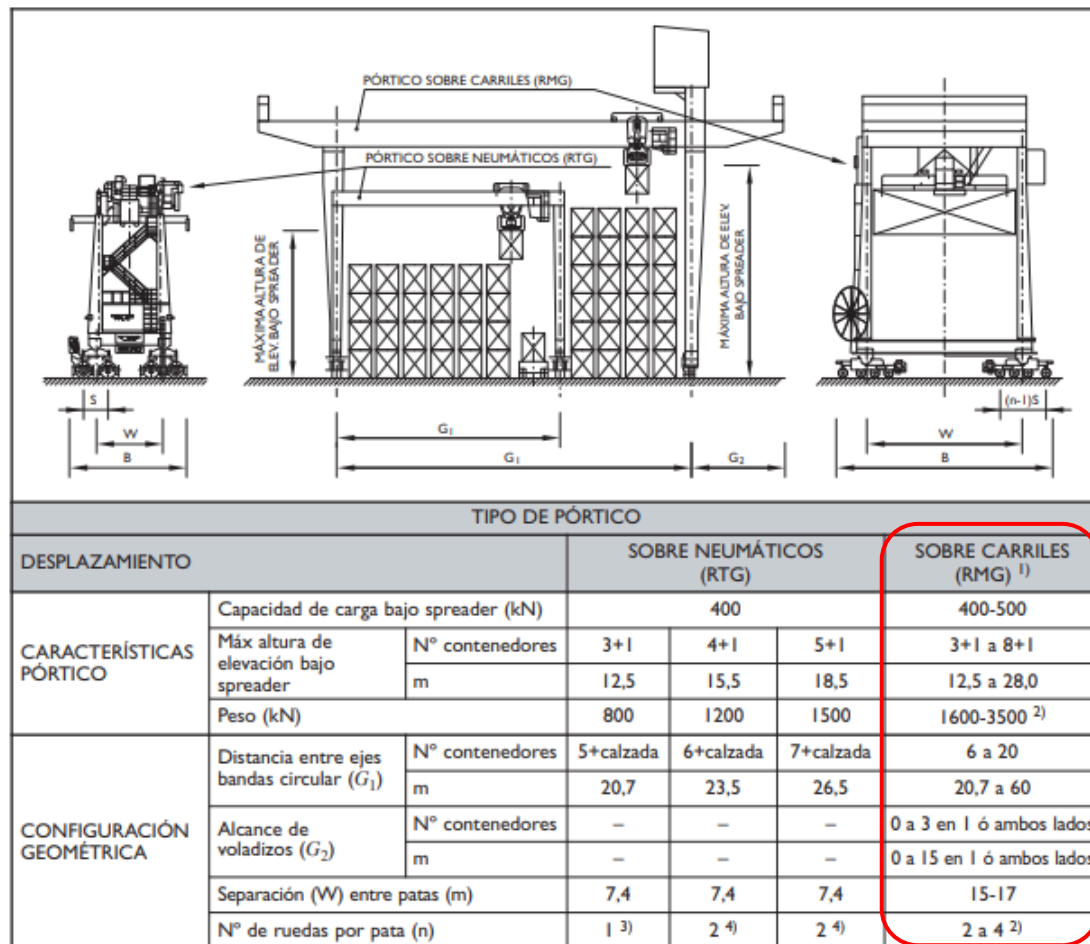


Figura 23 – Tabla 4.6.4.24. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por pórticos sobre neumáticos (RTG) o carriles (RMG) estándar por áreas de almacenamiento. Fuente: ROM 2.0-11

5.3.4. Pavimento

Se inicia el análisis individual de la alternativa desde el punto 3, debido a que los dos primeros puntos y el punto número 7 son idénticos en todas las alternativas y ya se han determinado en la explicación.

Distinción de cargas: Se distinguen las cargas de manipulación y las cargas de almacenamiento las cuales se determinarán a continuación.

Almacenamiento: Como se menciona anteriormente, al no disponer de datos concretos de partida en el dimensionamiento de los firmes en las zonas de almacenamiento, con las consideraciones mencionadas en la ROM 4.1-18 para 5 alturas, se considerará una carga de 1.485 KN y una presión de 12,1 MPa

Manipulación: Por otra parte, como se puede observar en la Figura 3, una unidad tractor-semirremolque y/o sistemas multiplataformas de 60 t, tiene una carga máxima en cada punto de apoyo de 87,75 KN y una presión de contacto máxima de 3,375 MPa.

Por ello, en esta alternativa, al estar considerando cinco alturas de apilamiento, se tendrá una carga de almacenamiento de categoría Alta y una carga de manipulación de categoría Media como se muestra en la Figura 24.

Q_v KN P_v MPa = 10 kg/cm ²	Carga equipos manipulación	Carga almacenamiento
Zona de almacenamiento. Graneles sólidos		
BAJA	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$ ^a	$P_v < 0,25 \text{ MPa}$ Graneles ordinarios
MEDIA	$Q_v \geq 160 \text{ KN}$ ó $P_v \geq 1,1 \text{ MPa}$ ^b	$P_v \geq 0,25 \text{ MPa}$ Graneles pesados
Zona de almacenamiento. Mercancía general		
BAJA	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$ simultáneamente	No paletizada
MEDIA	$Q_v \leq 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ ó $Q_v \geq 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,3 \text{ MPa}$	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$ Paletizada ordinaria
ALTA	$Q_v > 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ simultáneamente	$Q_v \geq 160 \text{ KN}$ y $P_v \geq 1,1 \text{ MPa}$ Paletizada pesada
Zona de almacenamiento. Contenedores		
BAJA	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$ simultáneamente	$Q_v < 350 \text{ KN}$ y $P_v < 4 \text{ MPa}$ Hasta 2 alturas
MEDIA	$Q_v \leq 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ ó $160 \text{ KN} \leq Q_v$ y $P_v < 1,3 \text{ MPa}$	$Q_v \leq 1.100 \text{ KN}$ y $P_v > 9 \text{ MPa}$ ó $350 \text{ KN} \leq Q_v$ y $P_v < 9 \text{ MPa}$ ^c
ALTA	$Q_v > 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ simultáneamente	$Q_v > 1.100 \text{ KN}$ y $P_v > 9 \text{ MPa}$ Solo cont. en 4-5-6 alturas
Zona de almacenamiento. Semirremolques ^d		
BAJA	$Q_v < 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,1 \text{ MPa}$ simultáneamente	
MEDIA	$Q_v \leq 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ ó $Q_v \geq 160 \text{ KN}$ y $P_v < 1,3 \text{ MPa}$	
ALTA	$Q_v > 700 \text{ KN}$ y $P_v > 1,3 \text{ MPa}$ simultáneamente	$Q_v = 80 \text{ KN}$ y $P_v = 45,5 \text{ MPa}$ En cada apoyo

^a está incluido el caso en que la manipulación se realice exclusivamente por medios continuos.
^b caso de grúas automóbiles y caso de camiones volquete de 20, 24 y 40 t.
^c todas las situaciones de almacenamiento, salvo las indicadas para cargas BAJA y ALTA.
^d no tiene efectos prácticos en la determinación de la categoría del tráfico, pues la carga de cálculo de almacenamiento es siempre ALTA.

Figura 24 - Tabla 3.16. Cargas de cálculo en zonas de almacenamiento. Fuente: ROM 4.1-18

Como se menciona en la explicación, se debe seleccionar la carga más desfavorable. Por ello se tiene una carga de cálculo Alta.

Determinación de la intensidad de uso: Debido a la falta de datos, se determina una intensidad MEDIA.

Categoría de tráfico: T1= Tráfico medio

Intensidad de uso	Carga de cálculo		
	ALTA	MEDIA	BAJA
ELEVADA	T0	T1	T1
MEDIA	T1	T1	T2
REDUCIDA	T1	T2	T2

Figura 25 - Tabla 3.17. Categorías de tráfico. Fuente ROM 4.1-18

Elección del tipo de firme:

Se asume un nivel de durabilidad o fiabilidad ante fallos del de un 10% de fallos, debido a que no se ha elegido hormigón armado ni hormigón con fibras. Por lo tanto, se opta por un espesor medio de cualquier tipo de firme que se prefiera.

DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS		Durabilidad o Fiabilidad ante deterioros		
		Sin deterioros (1% de fallos). Con máxima funcionalidad	Con deterioros. Con alta funcionalidad (10% de fallos)	Con deterioros. Con funcionalidad aceptable (20% de fallos)
TRÁFICO	T0	Espesor Máximo	Espesor Máximo	Espesor Medio
	T1	Espesor Máximo	Espesor Medio	Espesor Medio
	T2	Espesor Medio	Espesor Medio	Espesor Mínimo

Figura 26 - Tabla 6.2. Dimensionamiento de pavimentos. Fuente: ROM 4.1-18

USO COMERCIAL		ZONAS DE OPERACIÓN	
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5			
MÁXIMO 0,32 m	MEDIO 0,29 m	MÍNIMO 0,26 m	
II: PAVIMENTO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO			
MÁXIMO 0,32 m	MEDIO 0,29 m	MÍNIMO 0,26 m	
III: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO			
MÁXIMO 0,28 m	MEDIO 0,25 m	MÍNIMO 0,22 m	
IV: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS			
MÁXIMO 0,25 m	MEDIO 0,22 m	MÍNIMO 0,20 m	
V: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽¹⁾			
MÁXIMO ⁽²⁾ 0,12 m	MEDIO ⁽²⁾ 0,10 m	MÍNIMO ⁽²⁾ 0,10 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 HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).

Figura 27 - Tabla secciones estructurales normalizadas para uso comercial, zona de operaciones. Fuente: ROM 4.1-18

USO COMERCIAL		ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES (5 alturas)	
I: PAVIMENTO DE HORMIGÓN VIBRADO HF 4,5 ⁽¹⁾			
MÁXIMO 0,64 m	MEDIO 0,61 m	MÍNIMO 0,57 m	
II: PAVIMENTO CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO			
MÁXIMO 0,46 m	MEDIO 0,44 m	MÍNIMO 0,41 m	
III: PAVIMENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON FIBRAS			
MÁXIMO 0,51 m	MEDIO 0,49 m	MÍNIMO 0,46 m	
IV: ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ⁽²⁾			
MÁXIMO ⁽³⁾ 0,12 m	MEDIO ⁽³⁾ 0,10 m	MÍNIMO 0,10 m	
V: MEZCLAS BITUMINOSAS DE ALTO MÓDULO			
MÁXIMO 0,57 m	MEDIO 0,54 m	MÍNIMO 0,50 m	

Notas:

(1): En las zonas de depósito de los contenedores existe la posibilidad, con los espesores indicados, de que se produzcan fisuras, que se consideran admisibles si dichas zonas van a ser empleadas para depósito y no para la circulación de los equipos.

(2): En todos los casos los adoquines se apoyan en una capa de nivelación de arena de un espesor tras compactación de 0,03 m. En este tipo de pavimento es normal que se produzcan deformaciones del mismo.

(3): La capa de base estará constituida por una capa de alguna de las siguientes unidades de obra: hormigón magro (0,15 m), hormigón HM 20 (0,15 m) o suelo-cemento (0,20 m).

Figura 28 - Tabla secciones estructurales normalizadas para uso comercial, almacenamiento de contenedores (5 alturas). Fuente: ROM 4.1-18

Finalmente, se decide por escoger un pavimento de hormigón vibrado HF 4,5 y un espesor de 0,29 m en la zona de operación, y un espesor de 0,61 m en la zona de almacenamiento.