



Análisis de las cargas que van a actuar sobre la estructura del pavimento de un patio de contenedores ubicado en el puerto marítimo de Guayaquil

Análisis de las cargas que van a actuar sobre la estructura del pavimento de un patio de contenedores ubicado en el puerto marítimo de Guayaquil

Autores

Ing. Eduardo Santos Baquerizo Msc.

Ing. Lozano Bustamante Andrea Valeria

Ing. Sotomayor Rodríguez Dayanna Alejandra

Ing. Julio Vargas Jiménez Msc.

Ing. Francisco Javier Córdova Rizo

Análisis de las cargas que van a actuar sobre
la estructura del pavimento de un patio de
contenedores ubicado en el puerto
marítimo de Guayaquil

Autores

Ing. Eduardo Santos Baquerizo Msc.
Ing. Lozano Bustamante Andrea Valeria
Ing. Sotomayor Rodríguez Dayanna Alejandra
Ing. Julio Vargas Jiménez Msc.
Ing. Francisco Javier Córdova Rizo

Primera edición: febrero 2018

Diseño de portada y diagramación:

Grupo Compás

Equipo Editorial

ISBN: 978-9942-770-54-7

Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright

INTRODUCCIÓN

Para el diseño, construcción, reconstrucción o mejoramiento de proyectos de ingeniería civil, es necesario contar con un extenso conocimiento en cuanto a conceptos mecánicos, hidráulicos, físicos y cumplir con las normas establecidas y criterios de seguridad para el buen funcionamiento de éstas; la Ingeniería Civil abarca un amplio campo en lo que se refiere a construcción de obras de infraestructura, obras hidráulicas, obras de transporte, obras de saneamiento entre otros.

Dependiendo del tipo de construcción, algunas infraestructuras requieren conocimientos más específicos como es el caso de la ejecución de estructuras de aeropuertos, terminales terrestres, puertos marítimos, etc. por su complejidad en cuanto a las cargas que actúan sobre éstos.

Los terminales Portuarios desde el último siglo han sido de gran importancia para el comercio nacional e internacional, debido al incremento en la cantidad de mercaderías que se exporta e importan mayoritariamente en contenedores, por lo cual se presenta el problema de su almacenamiento cuando estos han sido descargados.

Aquí se genera la importancia de los patios de contenedores, los cuales son espacios adecuados donde será almacenado la mercadería antes de ser transportada a su destino.

El presente trabajo estará enfocado en el análisis de las cargas que van a actuar sobre la estructura del pavimento de un patio de contenedores refrigerados (Reefer) del Puerto Marítimo de Guayaquil, considerando la operación de grúas de marco de patio tipo RTG y cargadores frontales tipo Reach Stacker para el manejo de contenedores.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	2
ÍNDICE	3
ANTECEDENTES	5
Teorías	8
PAVIMENTO	10
PATIO DE CONTENEDORES	17
Dimensionamiento del patio	17
Cargadores frontales	24
Capacidad de movimientos requeridos en patio	24
Capacidad de movimiento de grúas	24
Contenedor	25
Tipos de almacenamiento	30
Distribución y Altura en almacenamiento de contenedores	30
PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	31
Estudio de suelos	31
Equipos	31
Tráfico	32
Análisis de cargas	33
Caracterización de cargas	33
Identificación de cargas	33
Cargas dinámicas	40
Distribución de cargas por rueda en equipos de manipulación	45
Vida útil	49
Diseño de pavimento utilizando el manual británico de diseño de pavimentos portuarios (BPA)	50
Roderos de Grúa RTG	52
Trabes de contenedores	53
Módulo de balasto	53
METODOLOGIA	54
DETERMINAR EL USO Y LA ZONA PORTUARIA DE ESTUDIO	54
ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS	54

Ensayos de laboratorio	54
DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DEL PATIO	55
CAPACIDAD DE MOVIMIENTOS REQUERIDA EN EL PATIO	58
CAPACIDAD DE MOVIMIENTO DE LOS EQUIPOS	59
IDENTIFICACIÓN DE CARGAS	60
DISEÑO DE PAVIMENTO UTILIZANDO EL MANUAL BRITANICO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS PORTUARIOS (BPA)	61
Análisis de Roderas para grúas RTG	69
Modelación.....	71
Resultados	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
Bibliografía.....	



ANTECEDENTES

Durante la presidencia del gobierno Camilo Ponce Enríquez en abril de 1958, se pronunció un mandato de emergencia para la creación del nuevo Puerto de Guayaquil, gracias a las gestiones de la Autoridad Portuaria, el Bco. Mundial autorizó un préstamo de 13 millones de dólares y se procedió a la construcción del mismo a orillas del Estero Muerto.

La inauguración del Puerto Marítimo de Guayaquil se dio el 31 de enero de 1963 desde aquel año, y hasta la actualidad ha tenido varios procesos de desarrollo y modernización para alcanzar una mejor posición en América, dado que hoy en día se ha presentado un mayor crecimiento de los bienes comercializados en el mundo, los que se transportan por agua.

Los contenedores comenzaron a ponerse en marcha durante la Segunda Guerra Mundial para el transporte seguro de materiales bélicos. El inventor fue el transportista Malcom McLean que, cansado de realizar grandes trayectos, ideó un revolucionario invento, unas cajas metálicas pesadas para el transporte de mercancías. (Moldtrans, 2015)

Debido a la complejidad que se daba en la carga y descarga de bienes pesados; en el año 1956 fueron creados los contenedores de tal manera ayudando al crecimiento económico, disminuir el tiempo de trabajo y obtener mayor facilidad al manejo y traslado de cargas, el primer viaje transatlántico de 228 contenedores se realizó en el año de 1966 iniciando de New York a Rotterdam, en el año de 1980 llegó a Sudamérica el primer buque portacontenedores llamado Columbus California.

Sin embargo, no toda la mercancía que se comercializa es transportada en contenedores, un contenedor se puede definir como un recipiente o una caja de dimensiones normalizadas y de construcción estándar en el cual se cargan toda clase de mercancías para ser transportadas en uno o varios modos de transporte (vía marítimo, aérea, ferrocarril y carretera) lo que es conocido como transporte multimodal,(...) (Mari, de Sousa, Martín , & Rodrigo , 2003, pág. 19)

Un contenedor por su estructura es muy necesario para el comercio aun cuando se trata de transportar grandes cantidades de mercancía ya que agiliza el trabajo y permite que llegue en buen estado.

El contenedor ha obtenido un papel principal en lo que refiere al comercio mundial, esto generó la necesidad de adecuar espacios para que las embarcaciones puedan adecuar sus mercancías (patio de contenedores) que son lugares dotados de una capacidad determinada de almacenamiento en tierra que soportan grandes cargas.

Dada la complejidad del peso de los contenedores y del paso de los equipos que son utilizados para la manipulación de los mismos se debe tener consideración especial en el cálculo de las cargas que van a actuar sobre el pavimento para que este lugar sea confiable y seguro.

Este trabajo tiene la intención de realizar un correcto análisis de cargas que actúan sobre una estructura de pavimento adoquinado en un patio de contenedores Reefers del Puerto Marítimo de Guayaquil, además el análisis de roderas o vigas de hormigón armado para la operación de grúas RTG.

La circulación eficiente y optima de los vehículos en el patio de contenedores Reefer del Puerto Marítimo de Guayaquil va a estar supeditada al comportamiento eficiente del pavimento, para ello es imprescindible tener una buena determinación de las cargas que van actuar sobre la estructura.

Debido al volumen del tráfico de carga que transporta y por sus instalaciones, el Puerto Marítimo de Guayaquil es el más importante del Ecuador, un gran porcentaje de carga se transporta en contenedores. Para la movilidad eficiente de esta carga contenerizada, los equipos que circulan por el patio y el personal que los opera se requiere un espacio extenso y adecuado con un pavimento que soporte grandes cargas. Todos estos parámetros, así como también el tipo de suelo y la forma en que se apilaran los contenedores influirán directamente al momento de definir el método adecuado para el cálculo de las cargas que necesitaremos para el diseño del pavimento, ya que la mala determinación de éstas va a generar que la estructura se deteriore antes de cumplir su vida útil para la cual fue diseñado.

La zona que desarrollar se encuentra dentro del Puerto Marítimo de Guayaquil, localizado en la costa Occidental de América del Sur, en el Estero Salado. La superficie estimada para el desarrollo del proyecto es de 5,4 Ha.

LATITUD

2°16'51" S

LONGITUD

78°54'49" O



Ilustración 1. Ubicación geográfica del Puerto Marítimo de Guayaquil

Fuente: Google Earth

El puerto Marítimo posee una estructura adecuada en lo que refiere al desarrollo del comercio internacional por su privilegiada ubicación y cuenta con los medios óptimos para la ejecución de las operaciones.

El cumplimiento del periodo de vida de una estructura de pavimento depende de la buena determinación de los varios parámetros que tiene el diseño, es por este motivo que se debe realizar un correcto cálculo de cargas que nos permitirá conocer el dimensionamiento de la estructura que se va a diseñar.

Dada la magnitud de los espacios utilizados por los contenedores y los equipos que manipulan a los mismos es imprescindible implementar la infraestructura adecuada para la correcta operación de almacenamiento de contenedores en el Puerto Marítimo de Guayaquil.

Por estar ubicado a orillas del estero contamos con presencia de suelos coluviales, los cuales no son estables, por ende, se requiere de un pavimento que se adapte a la deformación del suelo, el más adecuado hemos seleccionado al diseño de pavimento articulado para el patio por lo que su mantenimiento y reparación será más económica, además el análisis de vigas de rodadura de hormigón armado para la operación de grúas RTG.

Teorías

El puerto es el conjunto de obras e infraestructura, instalaciones, accesos, equipamientos y otras facilidades que se encuentran en la costa, localizados en zonas marinas costeras específicas, que tienen por objeto la recepción, abrigo, atención, operación y despacho de embarcaciones y artefactos navales, así como la recepción, operación, almacenaje, tratamiento, movilización y despacho de mercaderías nacionales y extranjeras que arriben a él por vía terrestre o marítima. (Contecon Guayaquil, 2015, pág. 10)

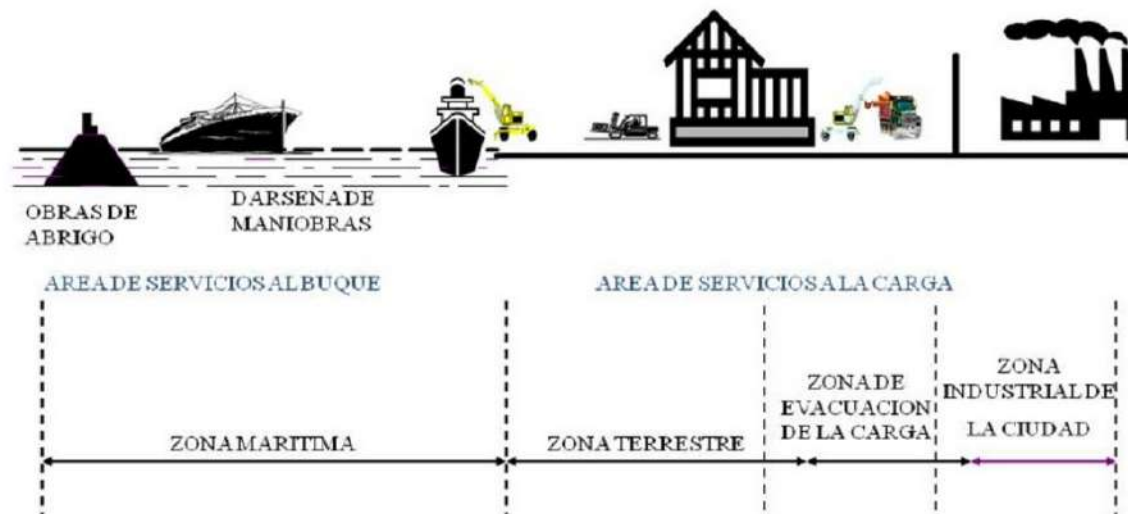


Ilustración 2. Zonas de un Puerto Marítimo

Elaborado por Superintendencia de Puertos y Transportes (Paredes Morato, 2010)

Las superficies portuarias son espacios donde se realiza el traspaso entre modo de transporte marítimo y terrestre, al mismo tiempo la manipulación y almacenamiento de mercancías para las cuales se debe tener una superficie de apoyo (patio de contenedores) que tenga un pavimento seguro y duradero, estas superficies se clasifican según su uso y actividad.

Por su uso:

- Uso comercial: se relaciona con traspasos de cargas convencionales.
- Uso industrial: se relaciona con traspasos asociado a actividad industrial.
- Uso militar: se relaciona con operatoria particular de buques militares.
- Uso pesquero: se relaciona con operatoria particular de deportivos.

Por su actividad:

- Zona de operación: transferencias y manipulación de mercancías.
- Zona de almacenamiento: permanencia y acopio de mercancías.
- Zonas complementarias: excluidas del movimiento de mercancías.
- Vías de comunicación: zona de tránsito entre distintas áreas.

Tabla 1*Uso de las superficies terrestres portuarias*

USOS DE LAS SUPERFICIES TERRESTRES PORTUARIAS		
USOS	ZONAS	SITUACIONES
COMERCIAL		Por rodadura
Graneles líquidos		Por elevación
Graneles sólidos ordinarios	OPERACIÓN	Por rodadura y elevación
Graneles sólidos pesados		Por sistemas continuos
Mercancía general convencional		Depósito
Mercancía general pesada	ALMACENAMIENTO	Circulación de equipos de movilidad no restringida
Mercancía general unificada		Circulación de equipos de movilidad restringida
Contenedores		Vías de maniobra
Semirrenolques y ro-ro	VIAS DE COMUNICACIÓN	Viales de acceso
Otros tráficos	COMPLEMENTARIAS	Circulación
		Estacionamiento
INDUSTRIAL	Análogo a uso comercial para mercancía general pesada	
	Análogo a uso comercial para mercancía general convencional y cargas Ro-Ro	
	OPERACIÓN	Pesca de bajura
MILITAR		Pesca de altura
	CLASIFICACIÓN, PREPARACIÓN Y VENTA	Clasificación y preparación
		Depósitos
		Lonjas
PESQUERO	VIAS DE COMUNICACIÓN	Vías de maniobra
		Viales de acceso
	COMPLEMENTARIAS	Circulación
		Estacionamiento
DEPORTIVO O DE RECREO	OPERACIÓN O VARADA	Grande embarcaciones
		Pequeñas embarcaciones
	COMPLEMENTARIAS	Circulación
		Estacionamiento

Fuente: Normas ROM (Llorca, 1994)

PAVIMENTO

“Son estructuras formadas por un conjunto de capas granulares y carpeta de rodadura, que descansan sobre el suelo de cimentación conocido como: subrasante” (Ing. Mario Becerra Salas, 2012, pág. 1)

El pavimento está conformado por varias capas que forman parte de la base de una estructura de superficie asentado sobre el terreno natural, por los materiales que están constituidos se clasifican en:

- Pavimento flexible
- Pavimento rígido
- Pavimento articulado
- **Pavimento flexible**

“Este tipo de pavimentos están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y sub base. No obstante prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra”. (Fonseca, 2002, pág. 2)

Estos pavimentos tienen la facilidad de adaptarse a las deformaciones que se presente debido a las cargas que se presentan en el pavimento, Su superficie o capa de rodadura es de hormigón asfáltico, sin juntas.

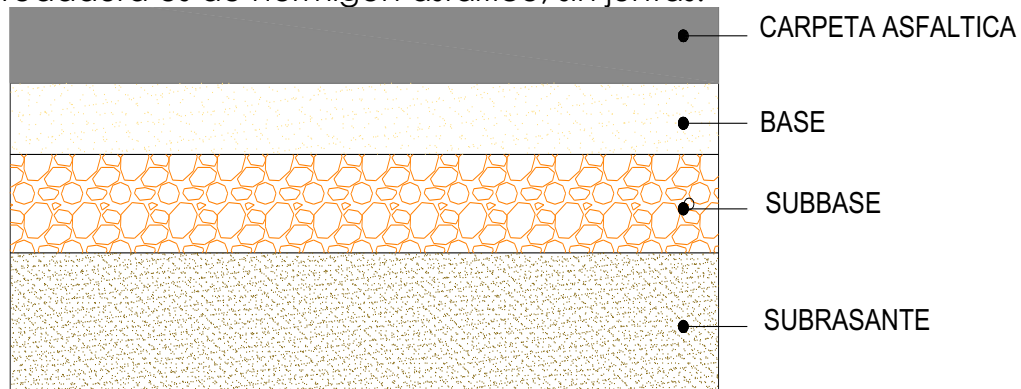


Ilustración 3. Corte transversal del pavimento flexible
Fuente: Elaboración propia

➤ Pavimento rígido

Son aquellos que fundamentalmente están contruidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub base del pavimento rígido (...) La capacidad estructural del pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. (Fonseca, 2002, pág. 7)

Consiste básicamente en una losa de concreto apoyada directamente sobre una base, tiene el comportamiento de una viga estructural, que debido a su rigidez y elevado módulo de elasticidad absorbe gran parte de los esfuerzos

actúan sobre el pavimento, lo cual da como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

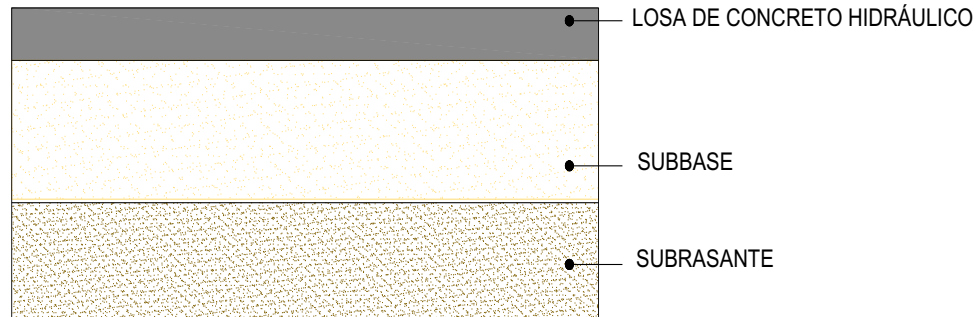


Ilustración 4. Corte transversal de un pavimento rígido
Fuente: elaboración propia.

Se clasifica el pavimento rígido de la siguiente manera:

Pavimentos rígido simple sin pasadores: Son pavimentos que no presentan refuerzos de acero ni elementos para transferencia de cargas, ésta se logra a través de la trabazón de los agregados entre las caras agrietadas debajo de las juntas aserradas o formadas. Para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que se use un espaciamiento corto entre juntas (...) (METODO AASHTO 93 PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS, pág. 5)

Pavimentos rígido simple con pasadores: Los pasadores (dowels) son pequeñas barras de acero liso, que se colocan en la sección transversal del pavimento, entre las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando así las condiciones de deformaciones entre juntas.

Pavimento de concreto reforzado con juntas: Los pavimentos reforzados con juntas contienen además del refuerzo pasadores para la transferencia de cargas en las juntas de contracción. Este refuerzo puede ser en forma de mallas de barras de acero electrosoldado.

Pavimento de concreto con refuerzo continuo: Se construyen sin juntas de contracción, debido a que el acero longitudinal asume todas las deformaciones.

➤ Juntas

Se consideran parte fundamental en el tiempo de duración de la estructura del pavimento rígido, debido a la versatilidad volumétrica que presenta el concreto se considera necesaria la construcción de juntas entre paños o losas de un pavimento.

La separación entre juntas máxima recomendada es de 6,0m, relación largo/ancho debe ser $<1,5$ se recomienda $\leq 1,25$

El sello de juntas es un material elástico que tiene como finalidad evitar la infiltración de agua y de otros materiales en las juntas, se encuentra ubicado en la parte alta de los diferentes tipos de juntas de pavimento rígido.

Juntas de contracción

Construidas transversalmente o longitudinalmente al eje central de la vía, son frecuentemente usados en pavimentos de hormigón, tiene como finalidad el control de las fisuras o agrietamiento provocado por diferentes factores como el cambio climático. El espaciamiento de juntas transversales no debe exceder en 1.25 al ancho de la losa.

Juntas transversales de construcción

Son juntas necesarias al final de la jornada de trabajo y en interrupciones de más de 1 hora.

Juntas de dilatación

Diseñadas para absorber expansiones provocadas por los cambios de temperatura. Son necesarias en casos específicos: se colocan al comienzo y al final de una curva cuando el radio es inferior a 200m y en el centro de ésta cuando su longitud es superior a 100m

➤ Pavimento articulado

“Se define como el revestimiento conformado por adoquines prefabricados de hormigón o cerámicos, colocados sobre una capa de arena nivelada, de espesor comprendido entre los 3 y 5 cm.” (Montse Bosch González & del Portal Latas, 2002, pág. 7)

Este tipo de pavimento se deforma juntamente con el suelo en el que está colocado, utiliza elementos prefabricados llamados adoquines en su capa superior la cual está apoyada sobre una capa de arena y una base.

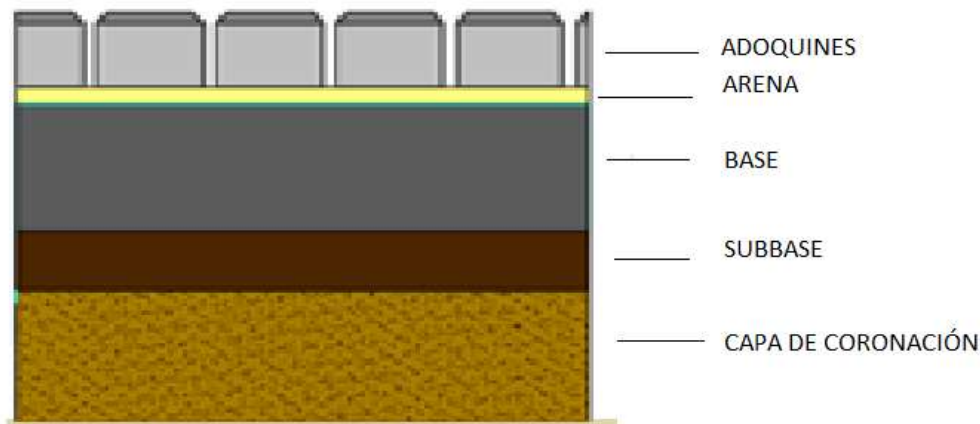


Ilustración 5. Corte transversal de un pavimento articulado
Fuente: elaboración propia.

Ventajas

- El pavimento articulado tiene la capacidad de deformarse conforme se va deformando el suelo, esto ocasiona bajos costos en su mantenimiento.

- En caso de operaciones de mantenimiento y reparación, se simplifica notablemente el tiempo durante el cual las operaciones se mantienen detenidas.
- Permite desarrollar un programa de pavimentación por etapas.

Desventajas

- Crecimiento de material vegetal entre los adoquines cuando no existe un adecuado sellado de las juntas.
- Filtración de agua cuando no existe un buen sellado de juntas y pérdida de material fino.

Adoquines tamaño y características

Piezas prismáticas prefabricadas de hormigón o de cerámica, con una geometría que permite su ensamblaje con otras idénticas para obtener una superficie continua. (Montse Bosch González & del Portal Latas, 2002, pág. 9)

Los adoquines prefabricados de hormigón con paredes verticales que permiten que se ajuste unos con otros, formando una superficie uniforme.

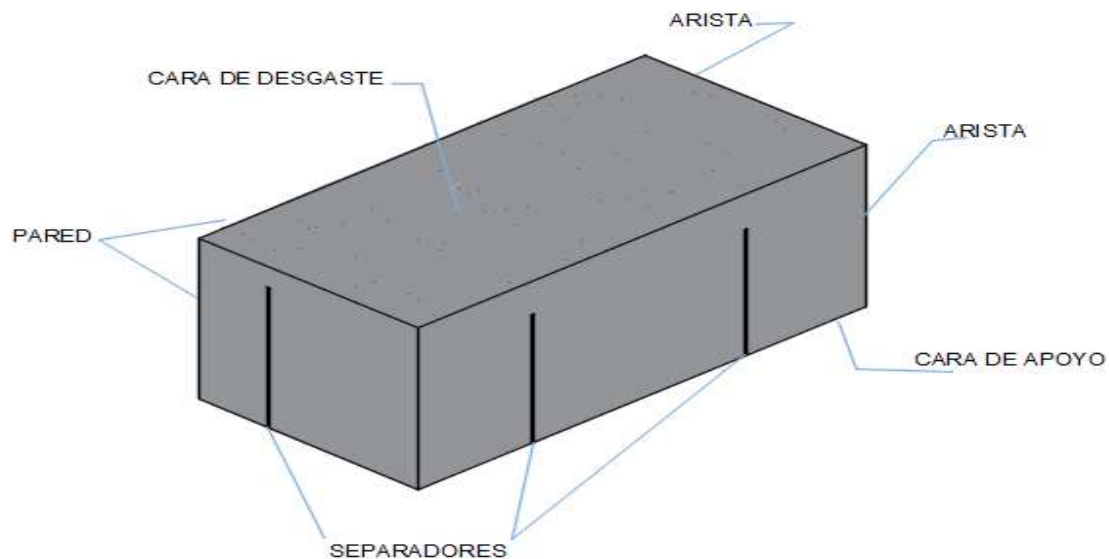


Ilustración 6. Estructura de un adoquín

Fuente: elaboración propia

Las dimensiones y formas de los adoquines prefabricados deben cumplir ciertos parámetros:

Tabla 2

Espesor de la estructura para almacenamiento de contenedores según el tipo de tráfico

ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN			
TRÁFICO A	TRÁFICO B	TRÁFICO C	TRÁFICO D
0,12m	0,10m	0,10m	0,08m

Fuente: Recomendaciones de Obras Marítimas ROM 4.1-94

La forma de los adoquines no influye mucho en el funcionamiento del pavimento, entre sus formas mencionamos las siguientes:

Tipo 1: Son adoquines rectangulares. Sus dimensiones son 20 cm de largo por 10 cm de ancho. Los hay con paredes rectas, onduladas o se pueden colocar en: patrón de espina de pescado, hileras trabadas, tejido de canasto, etc.



Ilustración 7. Tipos de colocación de un adoquín

Fuente: Manual de diseño de adoquines, 2013

Tipo 2: no se pueden colocar en patrón de espina de pescado, como los adoquines en forma de "I". Estos se colocan en hileras trabadas y se debe tratar de que éstas queden atravesadas a la dirección de circulación.

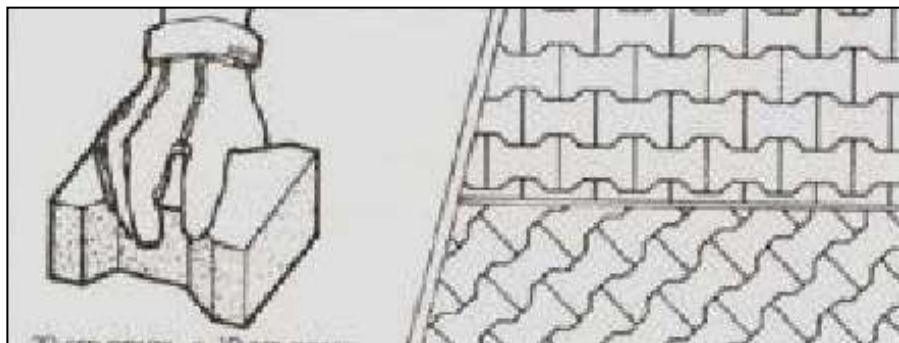


Ilustración 8. Adoquines colocados en forma de I

Fuente: Manual de diseño de adoquines, 2013

Tipo 3 miden unos 20 cm x 20 cm o más y sólo se pueden colocar en hileras.

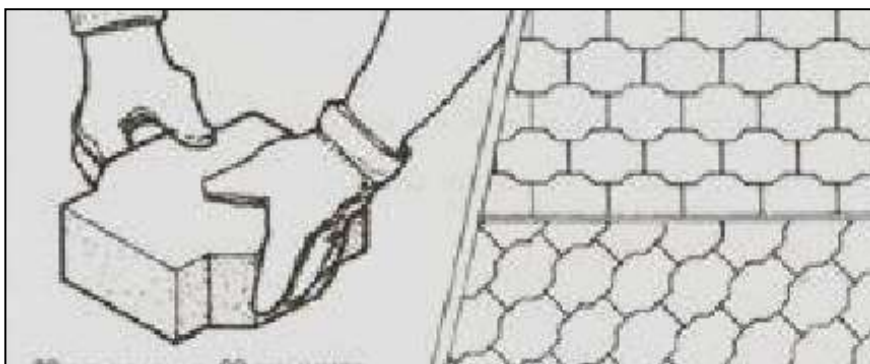


Ilustración 9. Adoquines colocado en hileras
Fuente: Manual de diseño de adoquines, 2013

La arena utilizada para la capa de apoyo de los adoquines será de origen aluvial, sin trituración, libre de polvo, materia orgánica y otras sustancias objetables, deberá satisfacer los siguientes requisitos:

Tabla 3

Requisitos para la arena utilizada

TAMIZ NORMAL	ALTERNO	PORCENTAJE QUE PASA
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	No.4	90-100
2.36 mm	No.8	75-100
1.18 mm	No.16	50-95
600 μ m	No.30	25-60
300 μ m	No.50	10-30
150 μ m	No.100	0-15
75 μ m	No.200	0-5

Fuente: (INV) (norma INV E-125) no plástico

Equipo

Como herramienta para la construcción, es necesario contar con: codales o reglas, tablas tablones, herramientas varias (Hilos, estacas, nivel de manguera, palustres, llanas, un mazo de caucho por colocador, escobas, palas, cintas métricas, lápices, etc.).

Para compactar la capa de adoquines es indispensable utilizar una vibro compactadora de pala ("ranita"). El área de la placa de la compactadora debe estar entre 0,25 m² y 0,5 m². No se deben utilizar placas más grandes porque pueden fisurar los adoquines, especialmente si éstos tienen 6 cm de espesor.

PATIO DE CONTENEDORES

En las zonas de almacenamiento se puede distinguir diversas situaciones en función de que las superficies estén destinadas al depósito o almacenamiento propiamente dicho o a la circulación de los equipos (ya sean de movilidad restringida o no restringida), si bien en muchas ocasiones puede ni existir esta diferenciación. (Llorca, 1994, pág. 33).

Debido al crecimiento de mercancías que son transportadas en contenedores es indispensable contar con espacios de almacenamientos para los mismos sin importar el tipo de carga que contenga, en estas zonas se originan cargas centralizadas de gran magnitud.



Ilustración 10 Patio de contenedores del Puerto Marítimo de Guayaquil.
Fuente propia.

Dimensionamiento del patio

La planificación de un terminal de contenedores se basa en un proceso de decisiones y fases, en la elaboración del dimensionamiento se debe planificar de acuerdo a su generalidad, unidad, objetividad, economía de medios, seguridad, coordinación y disciplina.

En cuanto al diseño de dimensionamiento de la terminal de contenedores se basa en diferentes tipos de métodos para su cálculo respectivo:

Por utilización de ábacos: para dimensionar el área del patio, considerando el número de movimiento de contenedores por año y el equipo utilizado o seleccionado para el área respectiva.

Por utilización de fórmulas: este segundo método por medio de fórmulas se basa en el cálculo de capacidad de TEU del patio, se obtiene:

$$C = \frac{LxHxWxK}{DxF}$$

Siendo:

L: número de contenedores en TEU en el suelo o disponibles (vacíos)

H: altura de apilamiento media

W: número de vacíos (TEU's) expresadas en proporción

K: número total de días en el año

D= tiempo medio de estancia del contenedor

F= factor de pick

✓ **Altura de apilamiento media**

La altura de estiba en condiciones de máxima altura se encuentra condicionados por el tipo de equipo utilizado.

Tabla 4.

Área unitaria según el sistema de manipulación.

Fuente: NORMAS ROM 02 (Llorca, 1994)

SISTEMA DE MANIPULACION	ALTURA DE ALMACENAMIENTO	ÁREA UNITARIA (a) (M2/TEUS)
Plataformas	1	65
Carretillas	1	72
transportador- elevadora	2	36
frontal (Forklift trucs- FLT) y	3	24
Apiladoras (Reach stackers- RS)	4	18
Carretillas pórtico	2	30
(Straddle carriers-SC)	3	18
	4	12
Puentes-Grúa	3	17
sobre neumáticos o carriles	4	12
(Transloaders, Rubber tired gantry -RTG y Rail mounted gantry-RMG)	5	9
	6	7

Número de vacíos

Se considera necesario reservar el 20% de los lugares para maniobras, debido a esto, el valor de W es igual a 0,8.

✓ Tiempo medio de estancia del contenedor

El tiempo medio que permanece el contenedor en la terminal depende de diversas causas, como son la duración de los tramites aduaneros, la organización y disponibilidad del transporte terrestre, la agilidad en el intercambio de la información, la estrategia del cargador, etc.

Para el caso de contenedores de exportacion, importacion y vacíos se considera dias de estancias según la normativa ROM mostrada en la siguiente tabla.

Tabla 5

Días de estancia según el tipo de contenedor.

TIPO DE CONTENEDOR	TIEMPO DE ESTANCIA EN DIAS
Exportación	4 a 6
Importación	8 a 10
Vacíos	20 a 30

Fuente: NORMAS ROM 02 (Llorca, 1994)

✓ Factor de pick

El factor de pick varía dependiendo de la terminal. Es establecido por la practica después de varias mediciones, expresado en proporción; generalmente se utiliza el valor de 1,3.

En la siguiente tabla se muestra datos de movimiento de TEUs correspondientes al Puerto Marítimo de Guayaquil

Tabla 6

Movimiento de TEUS-CONTECON Guayaquil

AÑO	TEUS
2012	971036
2013	1056605
2014	1448687
2015	1125206
2016	1262488

Fuente: Autoridad Portuaria de Guayaquil

1.1.1. Equipamiento del patio

Para transportar las mercaderías se requieren de diferentes equipos necesarios que a su vez permitan disminuir el tiempo de operación dentro del Puerto Marítimo de Guayaquil, entre ellos se cuenta con los siguientes.

- ✓ Transtainers RTG
- ✓ Straddle Carriers (Carretillas Pórticos)
- ✓ Cargadores Frontales (Reach Stacker)
- ✓ Cargadores Laterales
- ✓ Grúas automóviles
- ✓ Tractor Semirremolque

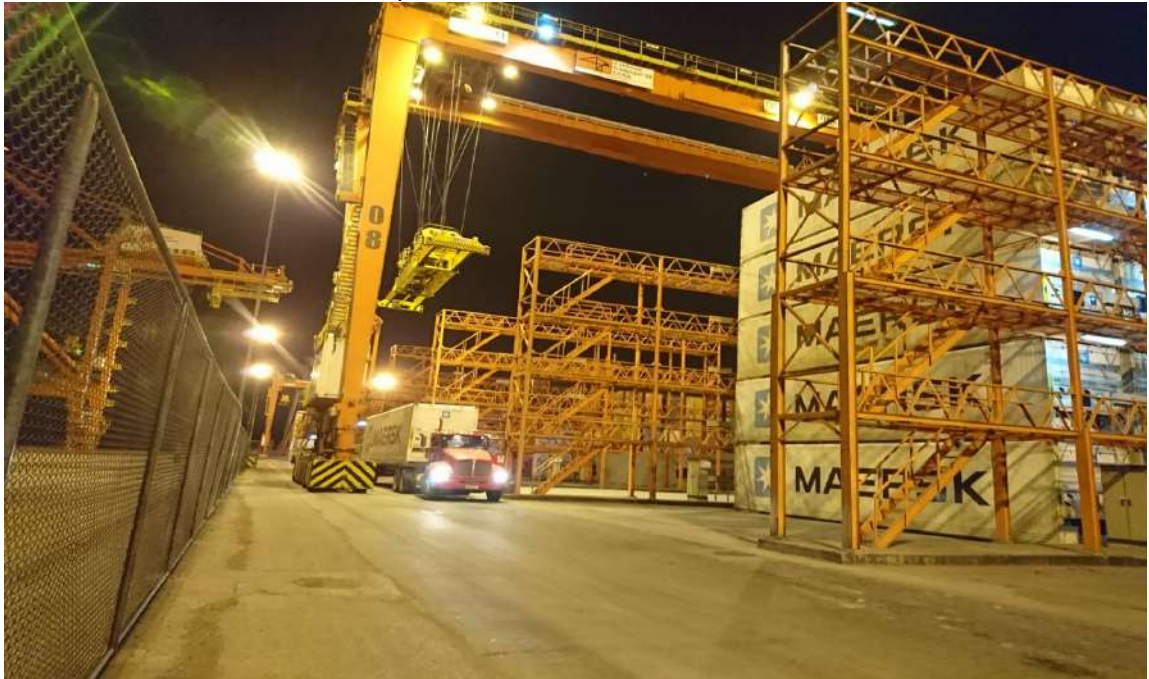


Ilustración 11. Grúa RTG en el Puerto Marítimo de Guayaquil.

Fuente propia.



Ilustración 12. Semiremolques en el Puerto Marítimo de Guayaquil.
Fuente propia.

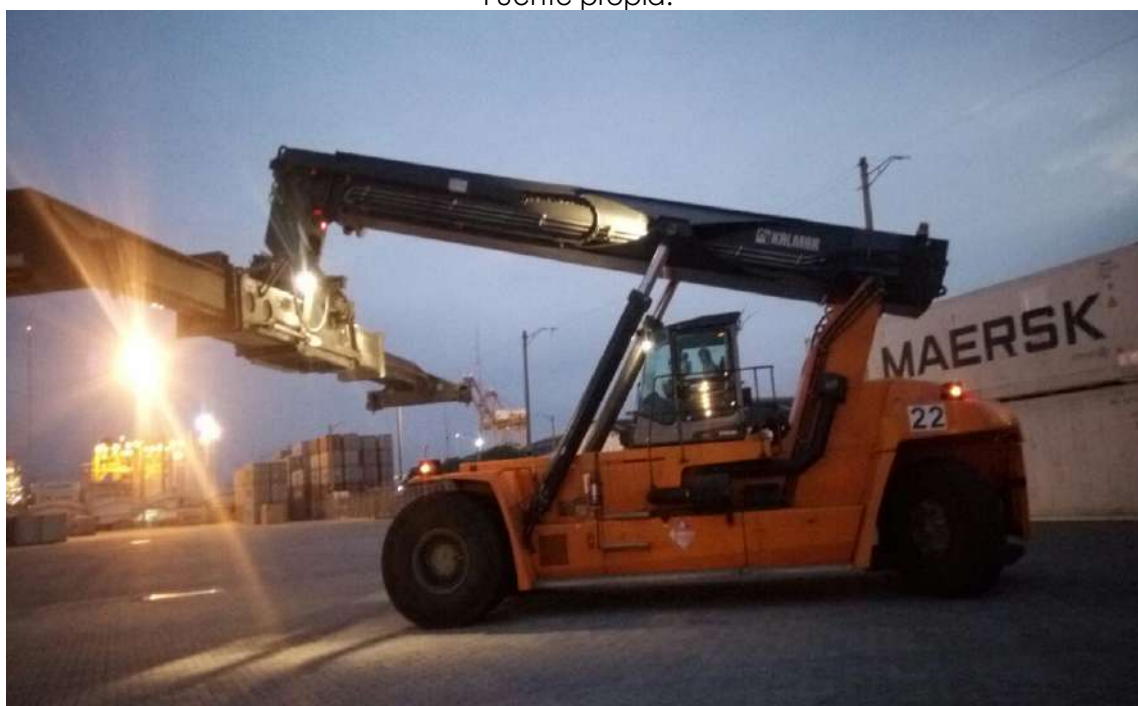


Ilustración 13. Reach Stacker en el Puerto Marítimo de Guayaquil.
Fuente propia.

✓ **Transtainers RTG**

Se dedican a la manipulación de los contenedores específicamente en las zonas de almacenamiento de los mismos, se trasladan sobre neumáticos o sobre carriles.

Tienen circulación restringida, para este tipo de equipos es necesario el diseño de vigas flotantes para su desplazamiento y rotaciones.

✓ **Straddle Carriers**

Son equipos de carga que se movilizan por las zonas de maniobra y almacenamiento, sus ruedas pueden tomar todas las trayectorias factibles.

Cargadores frontales

Permiten almacenamientos de contenedores hasta de 4 alturas, son de circulación no limitado.

✓ **Cargadores laterales**

De igual forma son de circulación no limitado, almacenan contenedores hasta de 4 alturas.

Este vehículo genera mayor daño al momento de cargar o descargar.

✓ **Gruas automóviles**

Principalmente es más utilizada para la operación de mercancía general, en la operación de contenedores permiten almacenamiento hasta de 4 alturas.

✓ **Tractores semirremolques**

Utilizado para el manejo y depósito de contenedores y mercancía general

Tabla 7

Capacidad y Rendimiento operacional

EQUIPO	RENDIMIENTO OPERACIONAL
RTG	10 TEUS/hora
REACH STACKER	25 TEUS/hora

FUENTE: CONTECON S.A.

Capacidad de movimientos requeridos en patio

Para el cálculo de la capacidad de movimientos anuales que se requiere en el patio depende de la capacidad estática en TEUS por año que se almacenan en la zona.

Se obtiene de la siguiente fórmula.

$$C = \frac{TEUS/AÑO}{Factor\ TEU} \times Movimientos\ adicionales$$

Dónde:

TEUS/AÑO: Capacidad estática.

Factor teus= 1,7-1,74

Movimientos adicionales= 1.10%

Capacidad de movimiento de grúas

Según la capacidad de movimientos requeridos en patios establecemos la cantidad y capacidad de grúas que serán necesarias para la manipulación de las mismas.

Se obtiene aplicando la siguiente ecuación.

$$C = \text{Número de grúas} \times \text{Rendimiento} \times 24 \text{ horas} \times 365 \text{ días} \times \text{factor eficiencia}$$

Dónde:

Número de grúas: se establece un número de grúas alternativamente.

Rendimiento: Rendimiento de contenedores/hora según el tipo de grúas.

Factor de eficiencia= 0,5

Cumpliendo que:

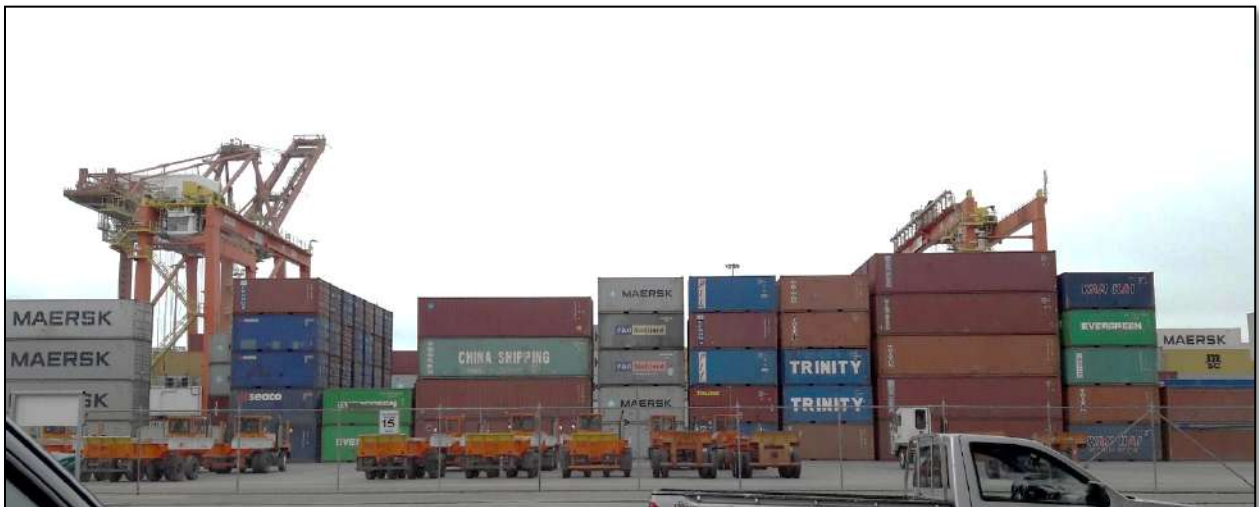
La Capacidad de movimiento de grúas es mayor a la Capacidad de movimientos anuales requeridos en patio.

Contenedor

Un contenedor es un envase de gran capacidad, resistencia y tamaño usado para facilitar el manejo y traslado de cargas pesadas a su vez sirve de protección mientras son movilizados en transporte marítimo, terrestre o aéreo, diseñadas con medidas estándar de 1 a 2 TEUS con volumen interno aproximado de 32,6m³ y 66,7m³. Los contenedores de 1 TEUS tienen un peso bruto máximo de 29000 kg y los contenedores de 2 TEUS su peso bruto máximo es de 32000 kg, su carga máxima varía según el tipo de contenedor y la naviera.

Generalmente son fabricados de acero, estos a su vez constan de alojamiento en sus bordes para acceder a ser sujetados por grúas especiales y proceder a su respectivo traslado.

Ilustración 14. Contenedores de 1 y 2 TEUS ubicados en el patio de almacenamiento del Puerto Marítimo de Guayaquil. Fuente propia.



Según las características y medidas mencionamos los siguientes tipos de contenedores:

- ✓ Dry Van
- ✓ Flat Rack
- ✓ High Cube
- ✓ Reefer

- ✓ Open Top
- ✓ Tank

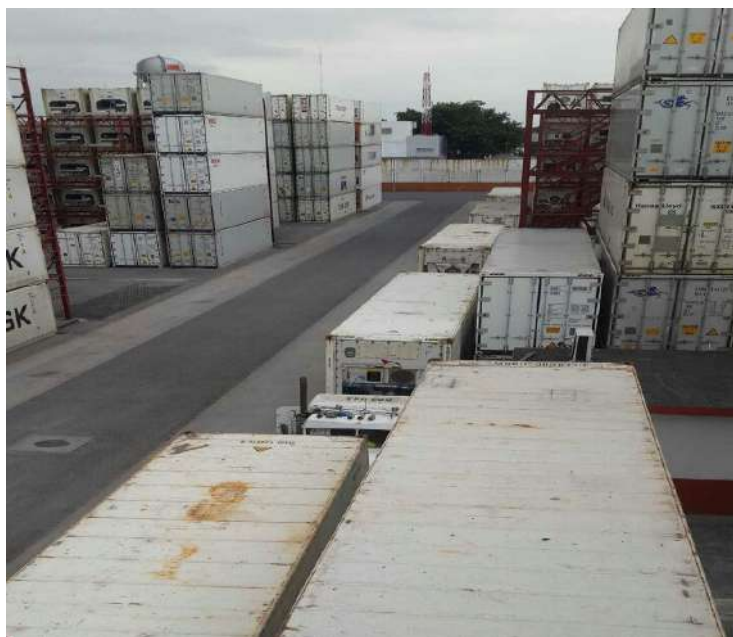


Ilustración 15. Contenedores ubicados en el patio de almacenamiento del Puerto Marítimo de Guayaquil. Fuente propia.

✓ **Dry Van**

Comúnmente es el contenedor que ha sido más utilizado en el transporte marítimo, estos pueden ser usados para el almacenamiento de casi todo tipo de cargas

Tabla 8

Dimensiones del contenedor Dry Van

CONTENEDOR DRY VAN		
TAMAÑO	20'	40'
CAPACIDAD	32,60m ³	67,7m ³
CARGA MÁXIMA	28.180kg	28.750kg
TARA	2.300kg	3.750kg
PESO BRUTO	30.480kg	32.500kg
LARGO	5,90m	12,03m
ANCHO	2,35m	2,35m
ALTURA	2,39m	2,39m

Fuente: Blogs Todo comercio exterior

✓ **Flat Rack**

Son recipientes adecuados que permiten embarcar cargas pesadas o mercancía especiales por su extensa dimensión que exceden la magnitud estándar, entre ellas: tuberías, maquinarias, etc.

Tabla 9.*Dimensiones del contenedor Flat Rack*

CONTENEDOR FLAT RACK	
TAMAÑO	20'
CAPACIDAD	21Lt
CARGA MÁXIMA	27.635kg
TARA	2.845kg
PESO BRUTO	32.480kg
LARGO	5,91m
ANCHO	2,10m
ALTURA	2,10m

Fuente: Blogs Todo comercio exterior

✓ **High Cube**

Tiene como principal característica su sobre altura lo que es perfecto para almacenar cargas ligeras de gran volumen.

Tabla 10*Dimensiones del contenedor High Cube*

CONTENEDOR HIGH CUBE	
TAMAÑO	40'
CAPACIDAD	76,4m ³
CARGA MÁXIMA	28.560kg
TARA	3.940kg
PESO BRUTO	32.500kg
LARGO	12,03m
ANCHO	2,35m
ALTURA	2,70m

Fuente: Blogs Todo comercio exterior

✓ **Reefer**

Contienen refrigeración incorporada puede ser en frio o calor, mantienen las mercaderías en su temperatura necesaria.

Tabla 11*Dimensiones del contenedor Reefer*

CONTENEDOR REEFER		
TAMAÑO	20'	40'
CAPACIDAD	24,3m ³	48,5m ³
CARGA MÁXIMA	22.000kg	25.980kg
TARA	3.400kg	4.500kg

PESO BRUTO	25.400kg	30.480kg
LARGO	5,03m	10,05m
ANCHO	2,23m	2,23m
ALTURA	2,17m	2,17m

Fuente: Blogs Todo comercio exterior

✓ **Open Top**

Diseñados para trasladar mercancías que necesiten estar al descubierto para evitar que se estropeen, por este motivo cuentan con la parte superior abierta.

Tabla 12

Dimensiones del contenedor Open Top

CONTENEDOR OPEN TOP		
TAMAÑO	20'	40'
CAPACIDAD	32,3m ³	65,9m ³
CARGA MÁXIMA	28.120kg	23.660kg
TARA	2.360kg	4.150kg
PESO BRUTO	30.480kg	30.480kg
LARGO	5,90m	12,03m
ANCHO	5,90m	2,35m
ALTURA	2,33m	2,33m

Fuente: Blogs Todo comercio exterior

✓ **Tank**

Contiene un tanque usado para transportar carga líquida a granel.

Tabla 13

Dimensiones del contenedor Tank

CONTENEDOR TANK		
TAMAÑO	20'	40'
CAPACIDAD	27,6m ³	54,8m ³
CARGA MÁXIMA	27.610kg	25.030kg
TARA	2.870kg	5.450kg
PESO BRUTO	30.480kg	30.480kg
LARGO	5,90m	12,03m
ANCHO	2,15m	2,24m
ALTURA	2,18m	20,3m

Fuente: Blogs Todo comercio exterior

Tipos de almacenamiento

La forma de almacenamiento de contenedores depende del criterio de logística de los equipos de manipulación que haya sido empleado, necesitando anchuras mínimas de 10 a 15 cm, dependiendo del tipo de contenedores.

- ✓ **Arreglos Simples:** Se ubican los contenedores de forma alineada, con este tipo de almacenamiento se dá un mayor aprovechamiento del espacio, entre ellos se deja un espacio adecuado para el ingreso de las ruedas y puedan ser manipulados por los van carriers.
- ✓ **Arreglos de Columnas:** Los contenedores son ubicados en columnas ó en línea doble dejando un espacio en cada lado permitiendo su manejo con el equipo conveniente.
- ✓ **Arreglos de Bloques:** Los contenedores se apilan formando bloques con la ayuda de las grúas Reach Stacker.

Distribución y Altura en almacenamiento de contenedores

La distribución y altura máxima a la que pueden apilarse los contenedores depende del tipo de equipo utilizado para el manejo de contenedores.

Tabla 14

Distribución y alturas máximas en el almacenamiento de contenedores

DISTRIBUCIÓN Y ALTURAS MÁXIMAS		
EQUIPO DE MANIPULACIÓN	FORMA DE DISTRIBUCIÓN	ALTURA MAX. Nº CONTENEDORES
Cargador frontal	Filas simples o dobles	4
Cargador lateral	Filas simples o dobles	4
Carretilla pórtico	Filas simples	3
Grúa automóvil	Bloque pequeño	4
Transtainer (Luz media, <30 m)	Bloque mediano	4
Transtainer (Luz grande, >30 m)	Bloque grande	5

Fuente: Recomendaciones de Obras Marítimas ROM 4.1 (1994)

PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Existen varias normas de diseño para pavimentos portuarios de las cuales utilizaremos las siguientes: normas británicas (BPA), Recomendaciones de obras marítimas (ROM) y AASHTO.

Los parámetros del diseño serán los siguientes:

- ✓ Estudio de suelo
- ✓ Trafico
- ✓ Estudio y análisis de cargas
- ✓ Vida útil

Estudio de suelos Equipos

El GEOGAUGE, es un equipo electromecánico que utiliza tecnología desarrollada por los militares de Estados Unidos para medir deflexiones muy pequeñas, utilizando por ende cargas muy pequeñas (cumple la norma ASTM D6758'02) y se lo utiliza para obtener el módulo de Young y la rigidez del material in situ.

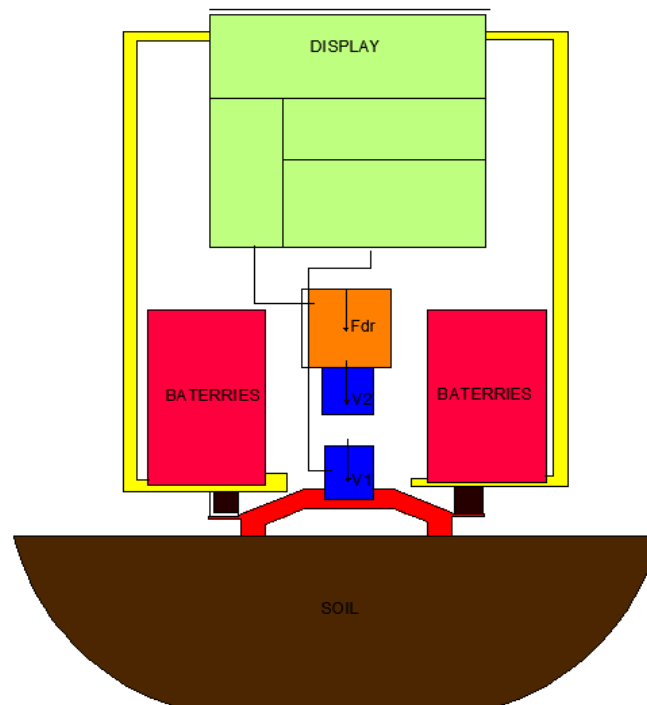


Ilustración 16. Partes internas del equipo GEOGAUGE
Diseño propio.

El módulo de Young es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico referente a la facilidad para recobrar su forma primitiva al cesar la fuerza que lo ha deformado.

Ensayos de laboratorio

Los ensayos que serán necesarios para el diseño de la estructura del patio de contenedores deberán cumplir con los procedimientos de las normas ASTM como son las siguientes:

Contenido de humedad (AST-D-2216, ASTM-D-2974)
Material menor que tamiz #200 (ASTM-D-1140)
Límite líquido (ASTM-D-4318)
Límite e índice plástico (ASTM-D-4318)
Clasificación de los suelos (ASTM-D-2487)

Contenido de humedad (ASTM-D-2216; ASTM-D-2974)

El contenido de humedad de un suelo es la relación del cociente del peso de las partículas sólidas y en el uso del agua que guarda, esto es expresado en porcentaje.

Determinación de la cantidad de material fino que pasa por el tamiz #200 (ASTM D 1140-00)

Describe el procedimiento a seguir para determinar, por lavado, la cantidad de material fino que pasa por el tamiz #200

Límite líquido, límite e índice plástico (ASTM -D- 4318)

Los límites de Atterberg también llamados límites de consistencia son utilizados para caracterizar el comportamiento de los suelos finos.

Tráfico

Según la intensidad de uso y la carga de cálculo que se determinarán en el análisis de cargas, se define la categoría de tráfico para la zona estudiada dentro del uso considerado y la carga aplicada.

Se han establecido 4 categorías de tráfico según las normas ROM.

Tráfico muy pesado, categoría A.
Tráfico pesado, categoría B.
Tráfico medio, categoría C.
Tráfico ligero, categoría D.

Tabla 15.

Categoría de tráfico según su intensidad de uso y carga de cálculo

INTENSIDAD DE USO	CARGA DE CÁLCULO		
	BAJA	MEDIA	ALTA
REDUCIDA	D	C	B
MEDIA	D	B	A
ELEVADA	C	B	A

Fuente. Recomendaciones de Obras Marítimas ROM 4.1

Análisis de cargas

Se diferencian por un lado las cargas que transmiten al pavimento los materiales o mercancías acopiados o almacenados en una determinada superficie (cargas de estacionamiento o almacenamiento) y por otro las cargas que aplican los equipos que se emplean en la manipulación de dichos materiales o mercancías (cargas de manipulación). Finalmente hay que considerar en los casos que corresponda las cargas de tráfico pesado convencional (vehículos de carretera) (Llorca, 1994, pág. 41)

Para un correcto análisis de pavimento se considera las cargas que trasladan en la estructura según la carga del tipo de mercancías, la carga de los equipos de manipulación y cargas de tráfico pesado convencional.

Caracterización de cargas

Para determinar el estudio de cargas dentro del Puerto Marítimo de Guayaquil, se debe tomar en cuenta principalmente el uso y la zona portuaria de estudio, lo que en nuestro caso es de uso comercial y como zona de almacenamiento el patio de contenedores, a través de esto estudiamos las siguientes cargas para el apropiado diseño de la estructura del pavimento.

Identificación de cargas

Las normas ROM (Recomendaciones de Obras Marítimas) establecen los siguientes parámetros para la identificación de cargas:

✓ Cargas de operación y almacenamiento

Graneles sólidos convencionales (4t/m^2 - 8t/m^2)

Graneles sólidos pesados (7t/m^2 - 15t/m^2)

Mercadería general convencional (40t y 80t/m^2 - 70t y 150t/m^2)

Mercadería general pesada (90t y 180t/m^2 - 120t y 200t/m^2)

Contenedores (800t/m^2 a 1300t/m^2 - área $30\text{x}30\text{cm}$)

✓ **Cargas de cálculo**

Baja: Graneles líquidos

Media: Graneles sólidos

Alta: Mercadería general

Alta: Contenedores

Media: Cargas Ro-Ro

✓ **Cargas de almacenamiento según su material**

Sea el tipo de material que se encuentra contenerizada en la zona de almacenamiento, se empleará para cada material la siguiente fórmula:

$$Q_v = \gamma \cdot H_a \text{ (t/m}^2\text{)}$$

Dónde:

Q_v = carga elemental,

γ =Peso específico del material.

H_a = Altura máxima de almacenamiento del material.

En caso de falta de criterios específicos de proyecto se consideran:

Para graneles sólidos:

-Graneles sólidos ordinarios: $0,018\text{MPa}$

- Graneles sólidos pesados: $0,15\text{MPa}$

Para mercancía general:

-Mercancía general convencional: 700Kn y $1,5\text{ Mpa}$

-Mercancía general pesada: 1200Kn y $2,0\text{ MPa}$

Tabla 16*Pesos específicos y ángulos de rozamiento de mercancías en zonas portuarias.*

Pesos específicos aparentes y ángulos de rozamiento internos de mercancías usuales estacionadas en zonas portuarias				
materiales a granel	γ (t/m ³)	ϕ (°)	materiales apilados	γ (t/m ²)
a) graneles solidos				
.-minerales			.-minerales	
alumina	1.70	35	bauxita (en sacos)	0.90
mineral de aluminio	1.40	50 (h)	mineral de cromo (en cajas)	2.50
			mineral de manganeso (en sacos)	1.50
mineral de cobre	2.60	45	minera de níquel (en sacos)	1.65
mineral de cromo	2.60	45	mineral de níquel (en barriles)	1.45
mineral de estaño (casiterita)	2.00	38	.- productos metalúrgicos y siderúrgicos	
mineral de hierro (limonita y magnetita)	3.00	40	acero (en barras)	3.00
mineral de magnesio	1.50	35	acero (en bobinas)	2.80
mineral de manganeso	2.40	45	acero (en lingotes)	3.60
mineral de plomo (galena)	2.80	40	acero (en planchas)	3.50
mineral de zinc (blenda)	1.80	38	aluminio (en lingotes)	1.25
pirita tostada	1.40	45	cobre (en bobinas)	1.10
			cobre (en lingotes)	3.50
.-productos químicos			cobre (en planchas)	3.50
abonos artificiales	1.20	40	estaño (en lingotes)	3.40
abonos minerales	1.20	30	zinc (en lingotes)	2.50
azufre	1.20	40		
carburo	0.90	30	.- productos químicos	
fosfatos	1.10	35	azufre (en sacos)	1.00
potasas	1.10	35	azufre (en barriles)	0.75
			fertilizantes (en sacos)	0.90
.-combustibles solidos			potasas (en sacos)	1.00
briquetas de lignito (amontonadas)	0.80	30		
carbón de leña (en trozos)	0.40	45	.-combustibles solidos	
coque de hulla	0.50	40	briquetas de bignito (apiladas)	1.30
hulla en bruto (húmeda)	1.00	45		
hulla pulverizada	0.70	25	.-materiales de construcción	
hulla en residuos de lavadero	1.20	0	arena (en cajas)	0.60
hulla en otras formas	0.85	30	caolín (en sacos)	0.77
leña en astillas	0.20	45	cemento (en sacos)	1.00
leña froceada	0.40	45	cemento (en barriles)	0.90

lignito	0.70	35	yeso (en sacos)	0.83
serrín de madera, asentado	0.25	45		
serrín de madera, suelto	0.15	45		
.-materiales de construcción			.-maderas y derivados	
arena seca	1.70	30	caucho (en balas, sacos o cajas)	0.50
arena saturada	2.00	30	caucho (en láminas)	0.60
arena de pómez	0.70	35	corcho	0.24
cal en polvo	1.00	25	madera blanda	0.70
cal en terrón	1.00	45	madera dura	1.00
caolín	0.95	35	papel (en bobinas)	0.40
casco o polvo de ladrillos	1.30	35	papel (en fardos)	0.80
cemento en polvo	1.20	25	pasta de papel (balas prensadas)	0.60
cenizas de cok	0.70	25	tableros	0.65
clinker de cemento	1.50	30	traviesas	0.77
escoña de alto horno			.-productos alimenticios	
granulada	1.10	25	arroz (en barriles)	0.53
troceada	1.50	40	arroz (en sacos)	0.70
granito (labrado)	1.30	35	avena (en sacos)	0.43
grava seca	1.60	40	azúcar (en sacos)	0.80
grava saturada	2.00	40	bebidas (en barriles)	0.60
mármol (labrado)	1.30	35	café (en sacos)	0.55
pedra caliza (en rocas)	1.70		carne congelada (en cajas)	0.48
pedra partida	1.80		carne congelada (en sacos)	0.44
yeso y escayola	1.25		carne en latas (en cajas)	0.60
.- productos de desecho			cebada (en sacos)	0.60
basura de demolición	1.30		centeno (en sacos)	0.63
escombros urbanos	0.60		cocos (en cajas)	0.40
estiércol apelmazado	1.80		cítricos (en cajas)	0.53
estiércol suelto	1.20		haba de soja (en sacos)	0.40
chatarra pesada	1.60		harinas (en barriles)	0.72
chatarra ligera	1.20		harinas (en sacos)	0.66
.- productos alimenticios			huesos (en sacos)	0.85
azúcar	0.75		leche condensada (en barriles)	0.60
carne congelada	0.35		leche condensada (en cajas)	0.60
caréales			leche en polvo (en cajas)	0.50
arroz	0.60		leche en polvo (en sacos)	0.50
avena	0.45		maíz (en sacos)	0.63
cebada	0.65		mantequilla (en barriles o cajas)	0.65
centeno	0.80		pescado fresco o congelado (en cajas)	0.60
maíz	0.75		plátanos (en cajas)	0.50
			queso (en cajas)	0.26
			sal (en cajas)	0.70
			sal (en sacos)	0.70
			semillas de girasol (en cajas)	0.90

mijo	0.70	semillas de girasol (en sacos)	0.50
trigo	0.75	tapioca (en sacos)	0.48
colza	0.70	te (en fardos)	0.65
forrajes	0.17	trigo (en sacos)	0.35
frutas y hortalizas	0.75	tubérculos (en cajas)	0.65
haba de soja	0.85	tubérculos (en sacos)	0.40
harina de cereal o soja	0.50	uvas (en cajas)	0.60
harina de pescado	0.80	vegetales (en cajas)	0.25
hielo	0.90	vegetales (en sacos)	0.60
huesos	0.40		
legumbres	0.80	.-productos animales y vegetales	
malta triturada	0.40	algodón (en balas)	0.37
piensos	0.50	esparto (en balas)	0.25
remolacha azucarera desecada y			
cortada	0.30	lana (en balas prensadas)	0.60
sal común	0.90	pieles húmedas (en balas)	0.55
semillas de girasol	0.55	pieles secas (en balas)	0.20
semola	0.55	pieles secas (en balas prensadas)	0.24
tubérculos	0.75		
		.-productos petrolíferos (en barril)	0.50
.- productos vegetales			
lino	0.60	.-aceites	
		de pescado (en barriles)	0.60
b)graneles líquidos		de vegetales (en barriles)	0.55
		latex (en barriles)	0.70
.-productos petrolíferos		melazas (en barriles)	0.55
crudo de petróleo	0.80		
fuel-oil	0.80	.-contenedores	0.50-0.70
gas-oil	0.80		
gasolina	0.75	.-vehículos	
gases licuados (gas natural, metano, butano)	(*)	vehículos a motor (vacíos)	0.25
		vehículos a motor (chatarra en jaulas)	1.00
.-productos químicos			
ácido clorhídrico al 40%	1.20		
ácido nítrico al 40%	1.25		
ácido sulfúrico al 50%	1.40		
acetona	0.80		
alcohol etílico	0.80		
anilina	1.00		
bencina	0.70		
benzol	0.90		
sulfuro de carbono	1.30		

.-aceites	
de creosota	1.10
de linaza	0.95
de minerales	0.93
de pescado	0.90
de ricino	.97
de vegetales	0.92
latex	1.00
melazas	1.25
.- vinos, bebidas y derivados	
aguas dulces	1.00
aguas saladas	1.03
cerveza	1.03
leche	1.03
vino	1.00

Fuente: Recomendaciones de Obras Marítimas ROM 02-90 **Intensidad de uso**

- ✓ Se analizan y clasifican los índices de explotación portuaria representativos de la intensidad de uso para que el proyectista pueda determinar en cada caso la combinación de carga de cálculo- intensidad de uso según la superficie de que se trate y así poder definir la categoría de tráfico correspondiente. (Llorca, 1994, pág. 59)

La intensidad de uso da idea al número de veces que durante la vida útil se emplea la carga de cálculo sobre el pavimento.

Se establecen índices para calcular la intensidad de uso de utilización portuaria para productos en zona de entrega de almacenamiento ó manipulación apreciados por el proyectista.

✓ **Uso comercial en zona de almacenamiento de contenedores**

Reducida: $I_{1,4} < 0,2 \text{ TEU/m}^2$

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

Elevada: $I_{1,4} > 2 \text{ TEU/m}^2$

En caso de faltar datos su intensidad de uso será Media en cualquier caso.

✓ **Cargas estáticas**

Se consideran cargas estáticas a los contenedores de 1 TEUS y 2 TEUS respectivamente, los cuales han sido mencionados anteriormente.

Tabla 17*Proporción de cargas estáticas*

Container Weight (kg)	Proportion of 40ft (12m) to 20ft (6m) Containers				
	100/0	60/40	50/50	40/60	0/100
0	0	0	0	0	0
1000	0	0	0	0	0
2000	0	0,18	0,23	0,28	0,46
3000	0	0,60	0,74	0,89	1,49
4000	0,18	1,29	1,57	1,84	2,95
5000	0,53	1,90	2,25	2,59	3,96
6000	0,98	2,17	2,46	2,76	3,94
7000	1,37	2,41	2,67	2,93	3,97
8000	2,6	3,05	3,16	3,27	3,72
9000	2,82	3,05	3,11	3,17	3,41
10000	3,3	3,44	3,48	3,52	3,66
11000	4,43	4,28	4,24	4,20	4,04
12000	5,73	5,24	5,12	4,99	4,5
13000	5,12	4,83	4,76	4,69	4,41
14000	5,85	5,38	5,26	5,14	4,67
15000	4,78	5,12	5,21	5,29	5,63
16000	5,22	5,58	5,67	5,76	6,13
17000	5,45	5,75	5,83	5,91	6,21
18000	5,55	5,91	6	6,10	6,46
19000	6,08	6,68	6,83	6,8	7,58
20000	7,67	8,28	8,43	8,58	9,19
21000	10,4	8,93	8,56	8,18	6,72
22000	9,95	7,6	7,02	6,43	4,08
23000	5,53	4,31	4	3,69	2,47
24000	5,75	1,75	1,5	1,25	0,24
25000	0,95	0,63	0,55	0,47	0,15
26000	0,67	0,4	0,33	0,27	0
27000	0,72	0,43	0,36	0,29	0
28000	0,53	0,32	0,27	0,21	0
29000	0,43	0,26	0,22	0,17	0
30000	0,28	0,17	0,14	0,11	0
31000	0,03	0,02	0,02	0,01	0
32000	0,03	0,02	0,02	0,01	0
33000	0	0	0	0	0
34000	0,05	0,03	0,02	0,02	0

Fuente: Port and Industrial Pavement Design With Concrete Pavers, Seconds Edition (John, PhD, Edited by David R, Smith)

Cargas dinámicas

▪ Cargas de vehículos Pesados

El dimensionamiento y pesos máximos de vehículos pesados está dada por la MTOP (Ministerio de Obras Públicas)

Tabla 18

Dimensionamiento máximo de vehículos pesados

Tipo	Ancho (m)	Alto (m)	Largo total (m)
Camión simple 2 ejes	2,5	4	10
Camión simple 3 ó mas ejes	2,5	4	11
Camión semirremolque	2,5	4	17
Camión más remolque	2,5	4	20
Bus	2,5	4	12

Fuente: Ministerio de obras públicas MOP

Tabla 19

Pesos máximos por eje

Tipo de eje	Tipo de rodado	Peso máximo (t)
Simple	Simple	7
Simple	Doble	11
Doble	Simple	14
Doble	Uno simple+ uno	16
Doble	Dobles	18
Triple	Simples	19
Triple	Uno simple + dos	23
Triple	Dobles	25

Fuente: Ministerio de obras públicas MOP

• Cargas de Grúas

Las cargas máximas en cada punto de apoyo y la máxima presión de contacto dependen del tipo de equipo que manipulan los contenedores y son establecidas en las peores condiciones de trabajo.

Tabla 20*Cargas y presiones de los equipos de manipulación*

CARGAS Y PRESIONES DE LOS EQUIPOS DE MANIPULACIÓN EN LAS PEORES CONDICIONES DE TRABAJO		
EQUIPO DE MANIPULACIÓN	CARGA MÁXIMA EN CADA PUNTO DE APOYO (kN)	MÁXIMA PRESIÓN DE CONTACTO (Mpa)
Pórtico de almacenamiento	450	1,1
Carretilla pórtico	130	1,1
Cargador frontal de 5 t	30	0,8
Cargador frontal de 20 t	110	0,7
Cargador frontal de 40 t	220	0,6
Cargador lateral	230	0,6
Grúa automóvil de 10 t	150	0,4
Grúa automóvil de 30 t	400	0,9
Grúa automóvil de 50 t	550	1,3
Grúa automóvil de 70 t	750	1,8
Grúa automóvil de 140 t	1100	2,6
Tractor más semirremolque de 40 t	35	2,2
Tractor más semirremolque de 80 t	70	2,2

Fuente: Recomendaciones de Obras Marítimas ROM 4.1 (1994)

Para uso comercial en zonas de almacenamiento de contenedores depende de las cargas y presiones que transmiten al pavimento en cada punto de apoyo.

Baja: $Q_v < 100 \text{Kn}$ y $p_v < 4 \text{MPa}$

Media: $100 \text{Kn} \leq Q_v \leq 1200 \text{Kn}$ ó bien $4 \text{MPa} \leq p_v \leq 10 \text{MPa}$

Alta: $Q_v > 1200 \text{Kn}$ y $p_v > 10 \text{MPa}$

Para carga de cálculo de manipulación depende de los equipos que se vaya a utilizar, cargas y presiones que transmiten al pavimento en cada punto de apoyo.

Baja: $Q_v < 120 \text{Kn}$ y $p_v < 1,1 \text{MPa}$

Media: $120 \text{Kn} \leq Q_v \leq 700 \text{Kn}$ ó bien $1,1 \text{MPa} \leq p_v \leq 1,5 \text{MPa}$

Alta: $Q_v > 700 \text{Kn}$ y $p_v > 1,5 \text{MPa}$

✓ Cargas de impacto

Son consecuencias dinámicas que actúan sobre la estructura en la zona de almacenamiento. En el caso de que la estructura del pavimento se expone a efectos dinámicos, las cargas de las ruedas se adaptan a los factores dados de la siguiente tabla:

Tabla 21

Factores dinámicos

CONDICIÓN	TIPO DE EQUIPO	Fd
Frenado	Carga frontal	±30%
	Straddle Carriers	±50
	Cargador lateral	±20
	Tractor y remolque	±10
Acorralamiento	Carga frontal	40%
	Straddle Carriers	60%
	Cargador lateral	30%
	Tractor y remolque	30%
Aceleración	Carga frontal	±10
	Straddle Carriers	±10
	Cargador lateral	±10
	Tractor y remolque	±10
Superficie desigual	Carga frontal	20%
	Straddle Carriers	20%

Cargador lateral	20%
Tractor y remolque	20%

Fuente: Port and Industrial Pavement Design With Concrete Pavers, Second Edition
(John, PhD, Edited by David R, Smith)

✓ **Carga de Rueda**

En el instante de que los equipos realizan la operación al manejo de la carga en la zona de almacenamiento causa un efecto dañino sobre la estructura del pavimento; la que se calcula con la siguiente ecuación:

$$D = \left(\frac{W}{12,000} \right)^{3,75} \times \left(\frac{P}{0,8} \right)^{1,25} \times N$$

Dónde:

D= Efecto dañino.

W= Carga d la rueda.

P= Presión de neumáticos (Mpa)

N= % (tabla de cargas estáticas)

✓ **Factores de proximidad de ruedas**

Al considerar la carga en una sola rueda se produce una deformación horizontal en la mitad de la rueda, ocasionando tensión radial. Si se considera una segunda rueda que se encuentre lo suficientemente junta a la primera, se intensifica la tensión bajo cada rueda generando tensión tangencial, la cual se añade a la tensión radial aportada por la primera rueda. En este caso el factor de proximidad es la suma de ambas tensiones.

Para los cálculos de tensiones se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma_r = \frac{W}{2\pi} \left[\frac{Z3r^2}{\alpha^{5/2}} - \frac{1-2v}{\alpha + z\alpha^{1/2}} \right]$$

$$\sigma_t = \frac{W}{2\pi} [1-2v] \left[\frac{z}{\alpha^{3/2}} - \frac{1-2v}{\alpha + z\alpha^{1/2}} \right]$$

Dónde:

σ_r = Tensión radial.

σ_t = Tensión tangencial.

W= Carga

r= Distancia ente ruedas

Z= Profundidad de posición de los cálculos de tensión.

V= Relación de Poisson 0,5

$$\alpha = r^2 + z^2$$

El valor z se halla en la siguiente tabla:

Tabla 22*Factores de proximidad de las ruedas*

Wheel Spacing in-(mm)	Proximity factor for effective depth to base of:		
	40in (1016mm)	80 in (2032mm)	120 in (3048mm)
12 (300)	1,82	1,95	1,98
24 (600)	1,47	1,82	1,91
36 (910)	1,19	1,65	1,82
48 or 4ft (1220)	1,02	1,47	1,71
72 or 6ft (1830)	1	1,19	1,47
96 or 8ft (2440)	1	1,02	1,27
144 or 12ft (3660)	1	1	1,02
192 or 16ft (4875)	1	1	1

Fuente: Port and Industrial Pavement Design With Concrete Pavers, Second Edition
(John, PhD, Edited by David R, Smith)

La profundidad efectiva simboliza la profundidad desde el exterior del pavimento a la parte inferior de la base, es calculada con la siguiente fórmula:

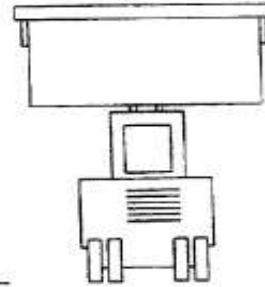
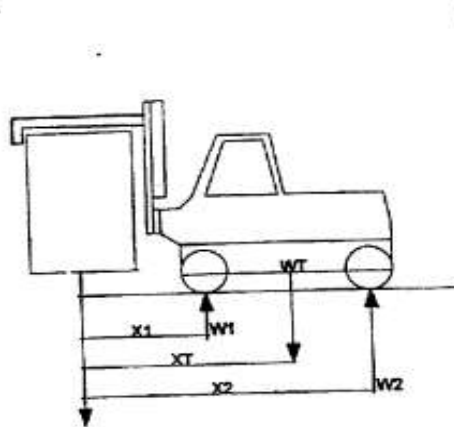
$$\text{Profundidad efectiva} = 300 * \sqrt[3]{\frac{3500}{\text{CBR} * 10}}$$

Distribución de cargas por rueda en equipos de manipulación.

El análisis de cargas corresponde a los equipos mencionados anteriormente, son de gran importancia para el diseño de la estructura de pavimentos en el patio de contenedores.

✓ Cargador Frontal

Ilustración 17.
frontal
Fuente.
diseños de
para puertos



Cargador

Manual de
pavimentos

$$W1 =$$

$$W2 = f_d \frac{A2 * Wc + B2}{M}$$

$$A1 = \frac{-X2}{X1 - X2}$$

$$A2 = \frac{-X1}{X2 - X1}$$

$$B1 = \frac{Wt(xt - x2)}{X1 - X2}$$

$$B2 = \frac{Wt(xt - x1)}{X2 - X1}$$

Dónde:

W1: Carga en rueda delantera (ton)

W2: Carga en rueda trasera

Wc: Peso de carga

Wt: Peso propio de la grúa

M: Número de ruedas en el eje delantero

Fd: factor dinámico

$$f_d \frac{A1 * Wc + B1}{M}$$

✓ Straddle Carriers

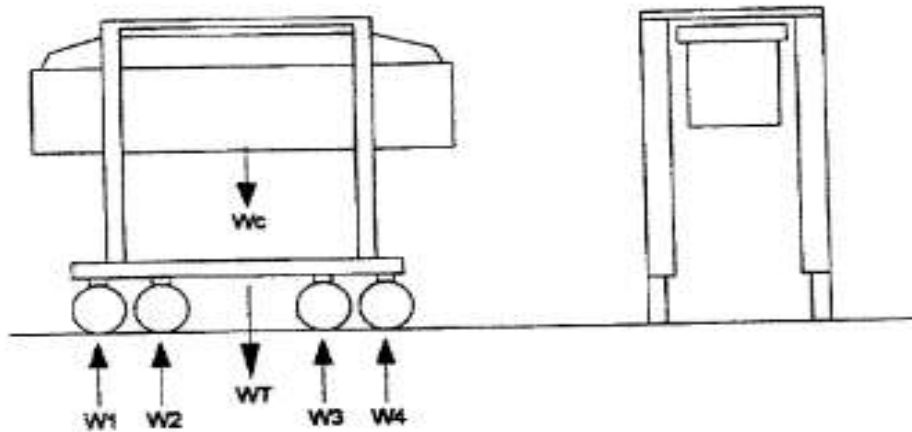


Ilustración 18. Straddle Carriers

Fuente. Manual de diseños de pavimentos para puertos

$$W = f_d \left(U_i + \frac{W_c}{M} \right)$$

Dónde:

W: Carga de rueda para planta descargada (ton)

U: Carga de rueda para planta cargada (ton)

Wc: Peso de la carga (ton)

M: Número total de ruedas en planta

Fd: Factor dinámico

✓ **Cargador Lateral**

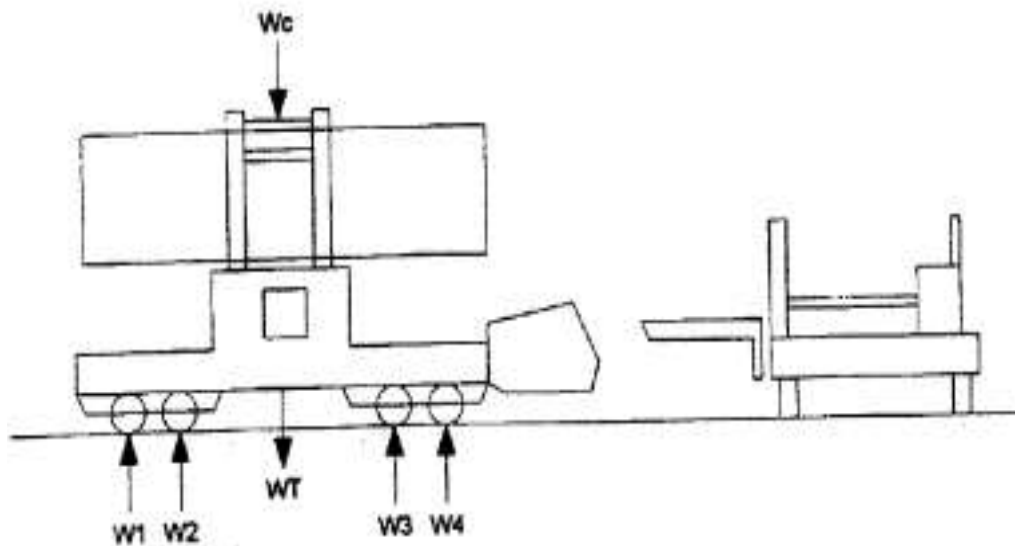


Ilustración 19. Cargador lateral

Fuente. Manual de diseños de pavimentos para puertos

$$W = f_d \left(U_i + \frac{W_c}{M} \right)$$

Dónde:

W: Carga de rueda para planta descargada (ton)

U: Carga de rueda para planta cargada (ton)

Wc: Peso de la carga (ton)

M: Número total de ruedas en planta

Fd: Factor dinámico

✓ Grúas Pórticos

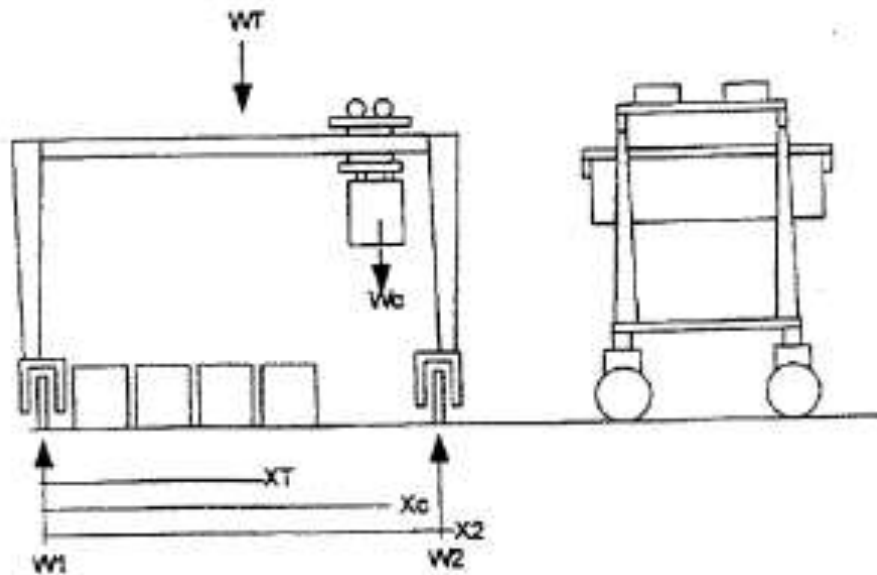


Ilustración 20. Grúas Pórticos

Fuente. Manual de diseños de pavimentos para puertos

$$W_1 = f_d \left(U_1 + \frac{A_1 \cdot W_c}{M} \right)$$

$$W_2 = f_d \left(U_2 + \frac{A_2 \cdot W_c}{M} \right)$$

$$A_1 = 1 - \frac{X_c}{X_2}$$

$$A_2 = 1 - \frac{X_c}{X_1}$$

Dónde:

W1: Carga de rueda de lado 1 (ton)

W2: Carga de rueda de lado 2 (ton)

U1: Peso pórtico de almacenamiento no cargada en rueda 1 (ton)

U2: Peso pórtico de almacenamiento no cargada en rueda 2 (ton)

Wc: Peso del contenedor (ton)

M: Número total de ruedas en planta

Fd: Factor dinámico

✓ **Semirremolque**

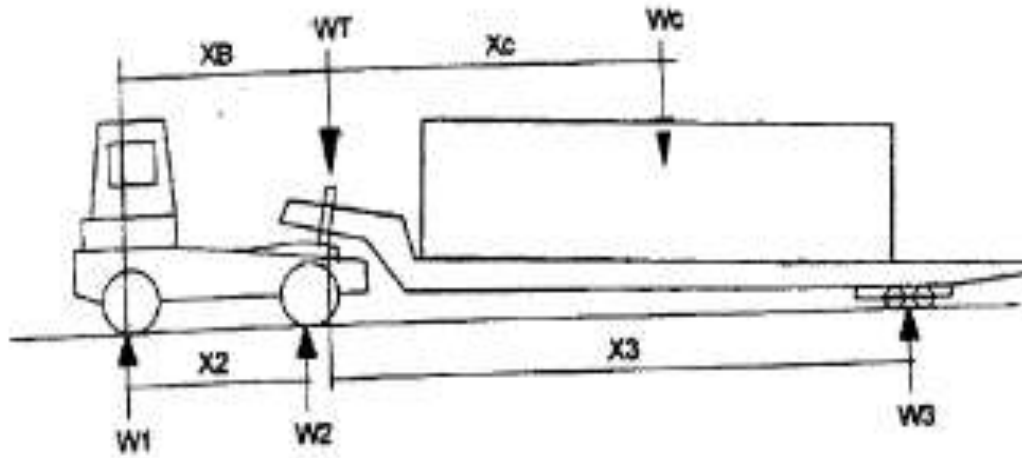


Ilustración 21. Semirremolque

Fuente. Manual de diseños de pavimentos para puertos

$$W1 = fd * \left(U1 + \frac{WC * (1-A)(1-B)}{M1} \right)$$

$$W2 = fd * \left(U2 + \frac{WC * (1-A)(B)}{M2} \right)$$

$$A = \frac{Xc}{X2}$$

$$B = \frac{Xb}{X2}$$

Dónde:

W1: Carga en ruedas delanteras del tractor (ton)

W2: Carga en ruedas traseras del tractor (ton)

W3: Carga en ruedas del semirremolque (ton)

Wc: Peso de carga del contenedor

M1: Número de ruedas delanteras del tractor

M2: Número de ruedas traseras del tractor

M3: Número de ruedas del semirremolque

U1: Carga en ruedas delanteras del tractor no cargado

U2: Carga en ruedas traseras del tractor no cargado

U3: Carga en ruedas del semirremolque no cargado

Fd: Factor dinámico

✓ **Grúa automóvil**

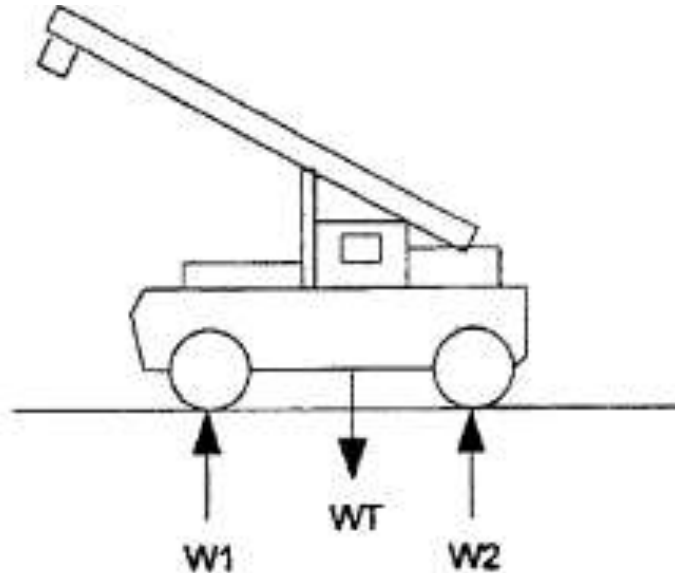


Ilustración 22. Grúa automóvil

Fuente. Manual de diseños de pavimentos para puertos.

$$W = \frac{Wt}{M}$$

Dónde:

Wt: peso propio de la grúa

M: número total de ruedas

Vida útil

Para su valoración se tendrá en cuenta la posibilidad, factibilidad económica de las reparaciones, la probabilidad y posibilidad de cambios en las circunstancias y condiciones de utilización previstas en el proyecto como consecuencia de variaciones o tráfico portuario, y la viabilidad de refuerzos y readaptaciones a nuevas necesidades de servicio. (Llorca, 1994, pág. 52)

La vida útil del proyecto se basa en el tiempo que se dispone brindar un servicio del cual será diseñado dependiendo de varios factores y la economía.

Tabla 23

VIDA ÚTIL MINIMA

VIDAS UTILES MINIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO EN AÑOS	
TIPO DE OBRA O INSTALACION	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO

	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL	25	50	100
DE CARÁCTER GENERAL INDUSTRIAL ESPECÍFICO	15	25	50

Fuente: RECOMENDACIÓN DE OBRAS MARITIMAS ROM 02-90

- **Obras de carácter general:** son aquellas que no tienen vínculo con explotaciones o canteras naturales.
- **Obras de carácter industrial:** están ligadas a la explotación y recursos naturales.
- **Nivel 1:** obras e instalaciones de interés local.

Causan poco peligro de pérdidas de vidas humanas o daños al medio ambiente. (obras de defensa, en puertos deportivos, locales, pavimentos, instalaciones de manejo de mercancías y manipulación)

- **Nivel 2:** obras e instalaciones de interés general.

Peligro moderado de pérdidas de vidas humanas o daños al medio ambiente. (Obras en grandes puertos e infraestructuras)

- **Nivel 3:** obras e instalación de protección contra inundaciones.

Mayor peligro de pérdidas de vidas humanas o daños medio ambientes.

Diseño de pavimento utilizando el manual británico de diseño de pavimentos portuarios (BPA)

Manual desarrollado por el profesor John Knapton para la British Ports Association. El método está supeditado en un modelo semi empírico, maneja valores de tensiones permisibles utilizando el método de elementos finitos y parámetros de la AASHTO.

A continuación, se muestra la siguiente tabla:

Tabla 24

Espesor de coronación y sub-base

% CBR de Subrasante	Espesor de coronación (mm)	Espesor de sub-base (mm)
1	600	150
2	350	150
3	250	150
5-7	No requiere	225
10-30	No requiere	150

Fuente: British Ports Association Design.

En el ábaco de la figura 22 se obtiene el espesor de base donde se debe ingresar el número de pasadas que será capaz de resistir el pavimento, este valor lo ubicamos en la curva que corresponda, si no coincide con ningún valor que nos presenta el ábaco se deberá extrapolar, seguidamente interceptamos con el eje de las coordenadas considerando las cargas simples equivalente.

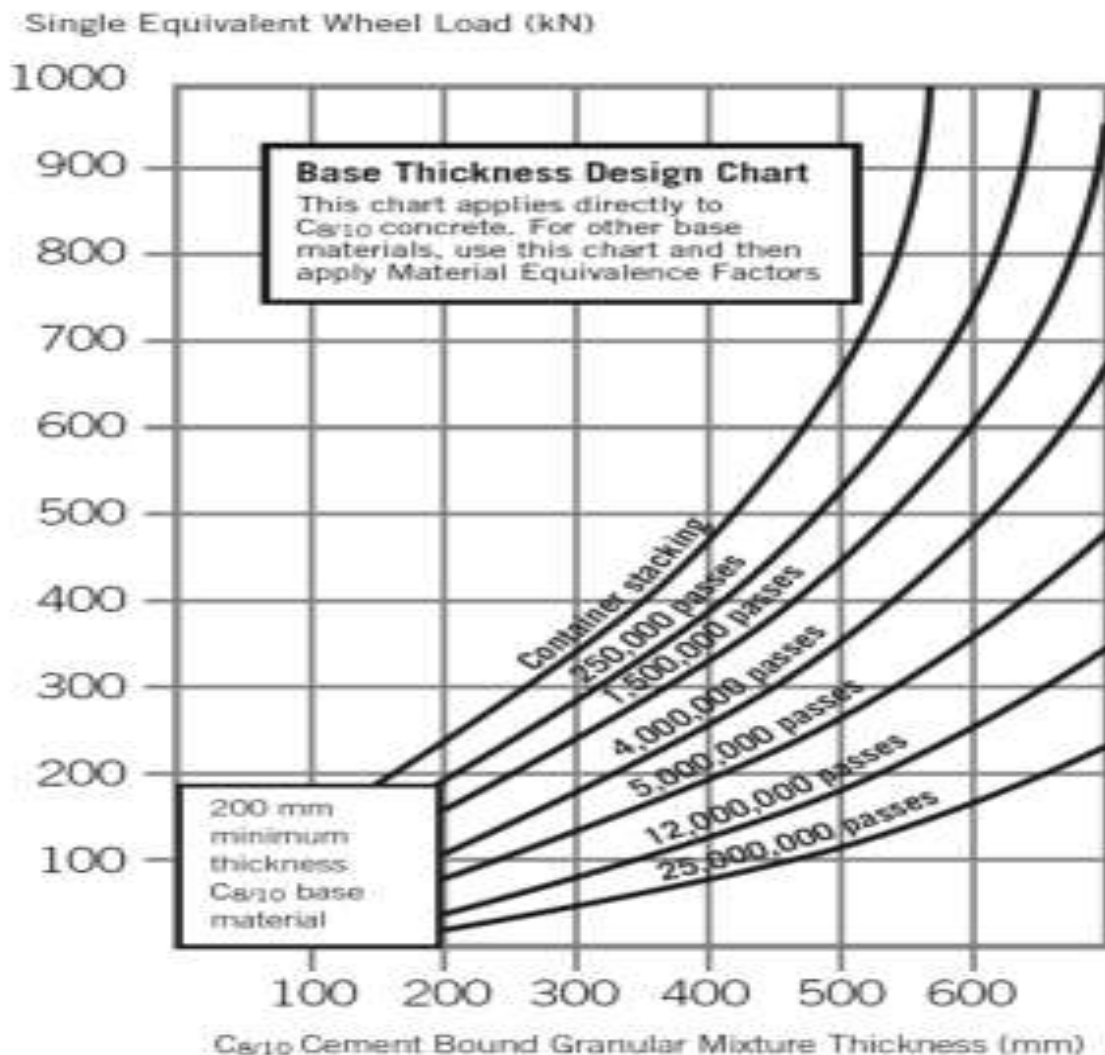
El número de pasadas se deberá calcular de la siguiente manera:

$$N = (\text{numero grúas} \times \text{rendimiento} \times 2 (\text{ida y vuelta}) \times n^{\circ} \text{ de días del año} \times \text{vida util})$$

Ilustración 23

Ábaco de diseño de base

Fuente: British Ports Association Design.



Roderas de Grúa RTG

Las rodaderas o vigas para la operación de las grúas RTG permiten un fácil desplazamiento del elemento rodante, son empleados para este tipo de equipos en puertos.

El material de construcción de estas vigas es de hormigón armado, que deberá cumplir con los siguientes requisitos para la resistencia a la compresión y aceros de refuerzo según la norma (ACI 318).

La resistencia a la compresión (F_c) se define como el promedio de resistencias de, como mínimo, dos probetas tomadas de la misma muestra probadas a los 28 días. El procedimiento se explica en las normas ASTM-C-192M-95 Y C-39-96. (Harmsen, 2005, pág. 23)

Tabla 25

Requisitos para condiciones de exposición especiales

Requisitos para condiciones de exposición especiales		
Condición de exposición	Concreto de peso normal; relación máxima agua- material cementante en peso	Concreto con agregado normal y ligero, F_c mínima, Mpa
Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua	0,50	28
Concreto expuesto a congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes	0,45	31
Para proteger el refuerzo en el concreto de la corrosión cuando está expuesto a cloruros de sales descongelantes, o salpicaduras del mismo origen	0,40	35

Fuente: ACI 318

Trabes de contenedores.

Las trabes son elementos diseñados para soportar la carga de los apoyos de los contenedores y están diseñados según las dimensiones del contenedor y su forma de almacenamiento.

Módulo de balasto

Conocido también como método de Winkler, resulta de un modelo mecánico para modelizar una fácil asimilación de la interacción entre estructuras de cimentación y terreno es el que supone el suelo equivalente a un número infinito de resortes elásticos cuya rigidez denominada módulo o coeficiente de balasto K ; se obtiene a partir del ensayo de placa de carga.

Es un modelo mecánico que introduce la respuesta del suelo de soporte en la solución de problemas de interacción suelo estructura. Este módulo depende de las condiciones de carga y el tipo de material-suelo.

El asiento producido en un punto mantiene una relación lineal con la presión a la que está sometido el terreno, transmitida por la cimentación analíticamente;

$$p = K \cdot y$$

p : presión transmitida al terreno.

y : deflexión del terreno el mismo punto de la interface fundación-suelo.

K : factor de proporción entre ambos, conocido como coeficiente o módulo de Balasto con unidades de kg/cm^3

Las expresiones matemáticas de la interacción suelo-estructura son muy simples lo que ha permitido aplicar con frecuencia el método en vigas, placas, pilotes y diferentes elementos flexibles de contención.

Los momentos flectores y esfuerzos en una viga han mostrado poca sensibilidad a la selección del módulo de reacción.

Es posible evaluar los resultados de modelos más complejos al compararlos con los resultados producto del uso del modelo de Winkler.

METODOLOGIA

Para el respectivo análisis de cargas y diseño de la estructura del pavimento se consideró como principales equipos de operación la grúa RTG y Reach Stacker, debido a su mayor peso, capacidad y por generar mayor deterioro a la estructura.

DETERMINAR EL USO Y LA ZONA PORTUARIA DE ESTUDIO

Para este proyecto definimos la zona de almacenamiento de la terminal N° 2 del Puerto de Guayaquil que corresponde a contenedores Reefer y uso comercial

ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS

Ensayos de laboratorio

El subsuelo está conformado por un estrato de arenas gravo-limosas entre 3.00 hasta 15.00m de profundidad que subyace un potente estrato de Arcillas limosas.

Con la ayuda del equipo de medición Geogauge, que cumple con la norma ASTM D6758-02 y una retroexcavadora se ejecutaron 10 calicatas de 1.50m de profundidad, Según la información obtenida de las calicatas localizadas en el lugar del proyecto se observa la presencia de una capa de gravas arenosas clasificados según el sistema SUCS GP, GW y GP-GM con un CBR del 3,5%., gravas con presencia de arena entre 8 y 48%. Con este equipo se midieron en campo a diferentes profundidades en cada calicata el módulo de Young y la rigidez in situ de cada material, en la figura mostrada se ubican sondeos y calicatas para el diseño del patio de bloques de estiba de contenedores Reefer.

Se obtuvieron muestras para caracterizar las condiciones del subsuelo y proceder a realizar los ensayos en el laboratorio, las muestras obtenidas del ensayo SPT fueron tomadas a diferentes profundidades para cada sondeo.

Las informaciones de ensayos solicitados se encuentran anexados proporcionados por CONTECON S.A

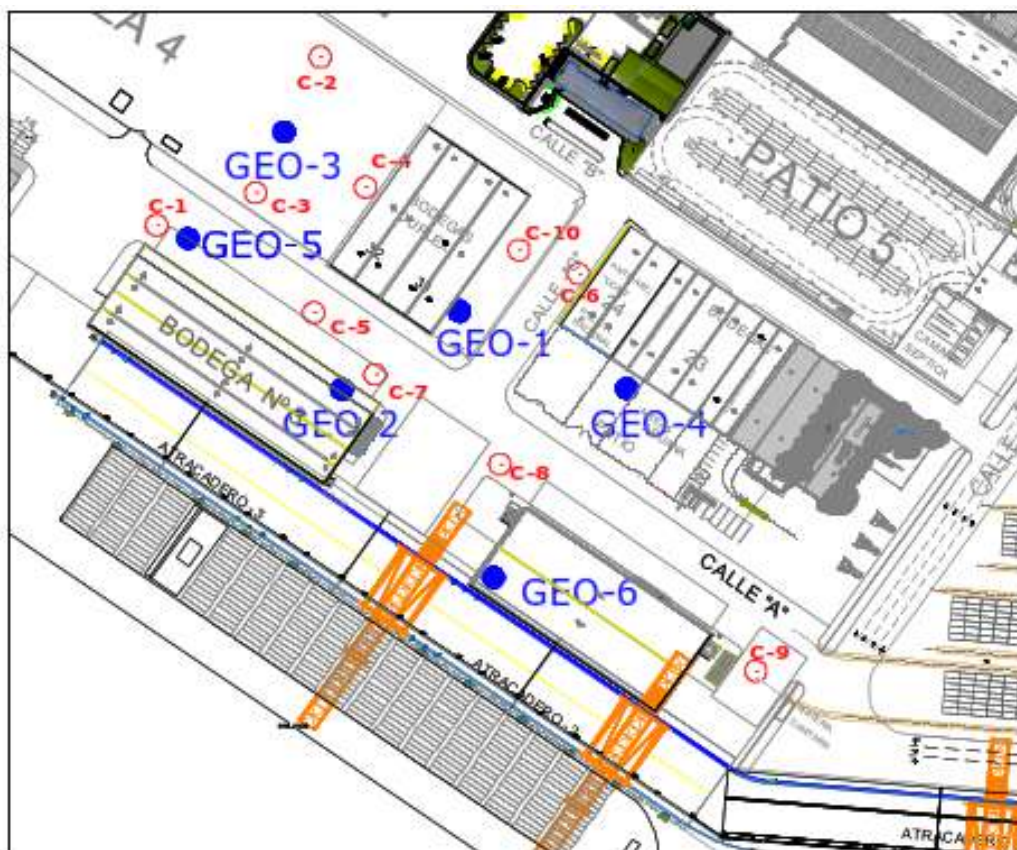


Ilustración 24. Vista en planta de la campaña de exploración del proyecto
Fuente: CONTECON S.A.

DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DEL PATIO

Para el cálculo de la capacidad de TEUS (Twenty food equivalent unit) del patio se utilizará la siguiente fórmula:

$$C = \frac{(L \times H \times W \times K)}{D \times F}$$

L: Número de contenedores en TEUS en el suelo o disponibles (vacíos)

H: Altura media de apilamiento

W: Número de vacíos (TEUS) utilizables en la terminal expresada en proporción

K: Número total de días en el año 365

D: Tiempo medio en días de estadía del contenedor en el terminal

F: Factor de Pick

- Para obtener el valor de L, se toma en consideración el área total del patio entre el área que ocupa un contenedor Reefer de 1 y 2 TEUS respectivamente.

Nota: Hay que separar del 40 al 60% del área total de la terminal para las áreas destinadas al movimiento de líneas férreas carrocerías y aparatos de apoyo que operan en la terminal. (Marí, de Sousa, Martín, & Rodrigo, 2003, págs. 99-100).

Área total del patio: 54000 m²

En este caso se tomó el 60% de área total del terminal

Área destinada a carrocerías y aparatos de apoyo que operan en la terminal

$$54000 \text{ m}^2 \times 60\% = 32400 \text{ m}^2$$

Área destinada para el almacenamiento de contenedores

$$54000 \text{ m}^2 - 32400 \text{ m}^2 = 21600 \text{ m}^2$$

Sabiendo que:

Área para almacenamiento de contenedores: 21600 m²

Área del contenedor Reefer de 1 Teus: 11.22 m²

Área del contenedor reefer de 2 Teus: 22.41 m²

- Para este proyecto se seleccionó 60/40 que quiere decir 60% de contenedores de 2 TEUS y 40% de contenedores de 1 TEUS; por lo que obtenemos el número de contenedores según los porcentajes respectivos.

Contenedores de 1 TEUS

$$L = \frac{21600 \text{ m}^2 \times 40\%}{11.22 \text{ m}^2} = 770.66 \approx 770 \text{ contenedores}$$

Contenedores de 2 TEUS

$$L = \frac{21600 \text{ m}^2 \times 60\%}{22.41 \text{ m}^2} = 578.27 \approx 578 \text{ contenedores}$$

La cantidad total de contenedores que almacena nuestro patio será:

$$L = 770 \text{ contenedores de 1 Teus} + 578 \text{ contenedores de 2 Teus} = 1348 \text{ contenedores}$$

Nuestro patio estará dimensionado para que funcione con grúa RTG debido a que tiene mayor capacidad de apilamiento de contenedores.

- La altura máxima que apila una grúa RTG es de 6 contenedores como muestra la tabla 4; por lo que para la altura media de apilamiento tenemos un valor de 3
- El valor de W será de 0.8 debido a que se considera necesario reservar el 20% de los lugares para maniobras y planificación para recibir nuevos buques.

- K= 365 número total de días en el año
- Se consideró 8 días para el tiempo medio estadía del contenedor en el terminal
- Para el factor de Pick por lo general se considera 1.3

Una vez obtenido los parámetros, realizamos el correspondiente cálculo:

$$C = \frac{(1348 * 3 * 0.8 * 365)}{8 * 1.3} = 113543 \text{ Teus - año}$$

El patio de almacenamiento tendrá una capacidad de 113543 Teus-año.

A continuación, calculamos la capacidad del patio (Teus-año) proyectado a los años de vida útil.

La vida útil del proyecto es de 25 años que corresponde al nivel 1 de seguridad requerida mostrada en la tabla 23.

Utilizando datos de movimientos de Teus anuales proporcionados por la Autoridad Portuaria de Guayaquil (APG) mostrado en la tabla 5, calculamos la tasa de crecimiento anual, siendo:

$$\text{Tasa de crecimiento} = \left(\frac{\text{valor final} - \text{valor inicial}}{\text{valor inicial}} \right) \times 100$$

Tabla 26

Tasa de crecimiento anual

AÑO	MOVIMIENTOS TEUS	%
2012	971036	8.81
2013	1056605	37.10
2014	1448687	-22.32
2015	1125206	

		12.20
2016	1262488	
Total		8.94

Diseño propio, mediante datos obtenidos por APG (Autoridad Portuaria de Guayaquil)

Obteniendo un valor de Tasa de crecimiento promedio de 8.94%.

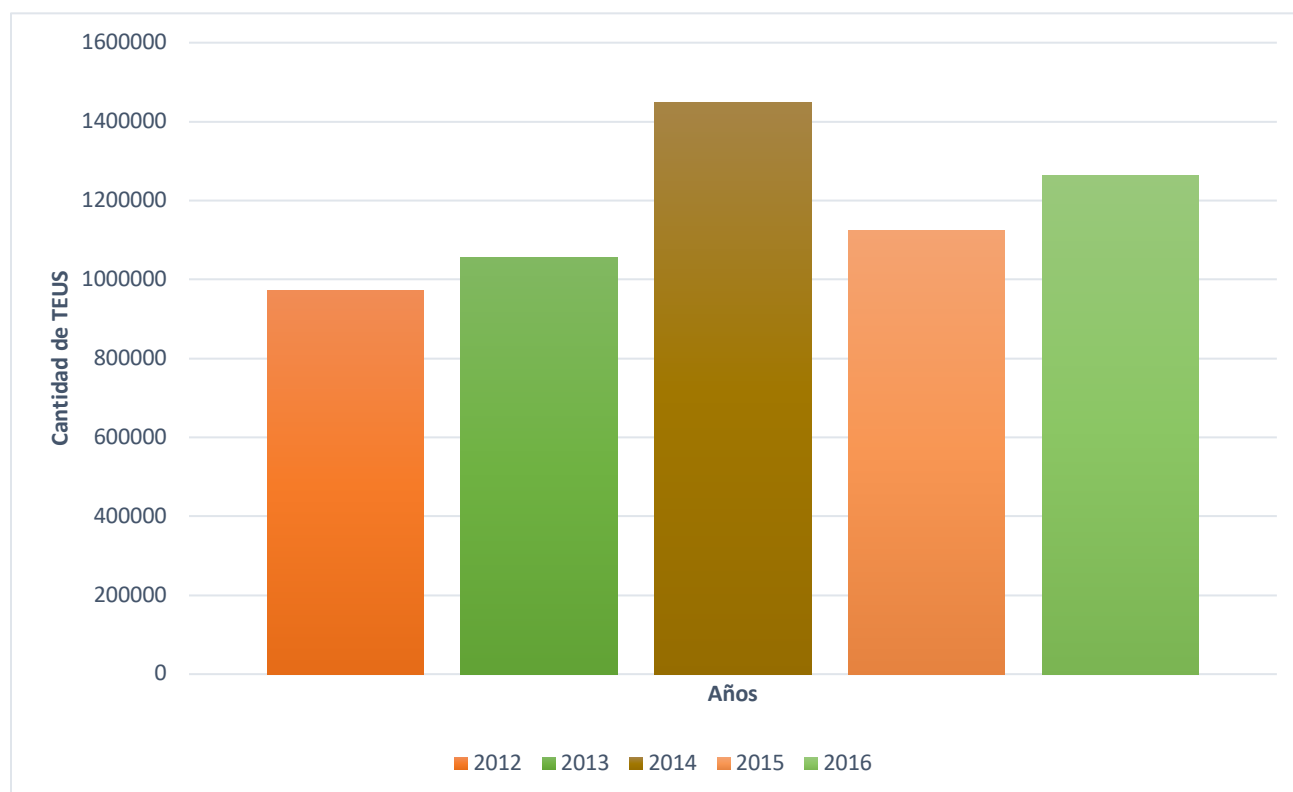


Ilustración 25. Cantidad de TEUS/año que mueve el Puerto de Guayaquil
Diseño propio

La capacidad actual del patio será proyectada para 25 años, calculándola con la siguiente fórmula:

Capacidad del patio proyectada= N° de TEUS actuales (1+r x t)

Capacidad del patio proyectada= 1348 (1+8.94% x 25) = 367533 Teus-año

CAPACIDAD DE MOVIMIENTOS REQUERIDA EN EL PATIO

Para obtener la capacidad de movimientos requerida utilizamos la siguiente fórmula:

$$C = \frac{N \text{ DE TEUS / AÑO}}{\text{FACTOR TEUS}} \times \text{Movimientos adicionales}$$

Siendo:

N de Teus-año el valor calculado anteriormente de 367533 Teus-año

Factor Teus se encuentra en un rango 1,7-1,74, se escogió 1.7

Movimientos adicionales en % = 1.1

$$C = \frac{367533}{1.7} \times 1.1 = 237815 \text{ movimientos} - \text{año}$$

La capacidad total requerida en patio es de 237815 movimientos-año

CAPACIDAD DE MOVIMIENTO DE LOS EQUIPOS

Según la capacidad de movimientos requeridos obtenidos anteriormente establecemos la cantidad y capacidad de grúas definidos en la tabla 7.

➤ Capacidad en grúa RTG

Tabla 27

Datos utilizados para el cálculo de capacidad de movimiento de grúa RTG

GRUA RTG	
No grúas	6
Rendimiento	10 Teus /hora
Horas	24
Días	365
Factor de eficiencia	0.5

Diseño propio.

Aplicando la siguiente ecuación:

C= No grúas x rendimiento x 24 horas x 365 días x factor de eficiencia

C= 6 x 10 x 24 horas x 365 días x 0.5= 262800 movimientos / año

La capacidad de movimiento de la grúa RTG es de = 262800 movimientos / año

Se debe cumplir que la capacidad de movimiento de los equipos debe ser mayor a la Capacidad requerida en el patio

262800 movimientos / año > 237815 movimientos / año ok

Por lo que se establece aleatoriamente el número de equipos para que cumpla esta condición.

➤ **Capacidad en grúa Reach Stacker**

Tabla 28

Datos utilizados para el cálculo de la capacidad de movimientos de grúa Reach Stacker

REACH STACKERS	
No grúas	3
Rendimiento	25 Teus /hora
Horas	24
Días	365
Factor de eficiencia	0.5

Diseño propio

Aplicando la ecuación:

$C = \text{No grúas} \times \text{rendimiento} \times 24 \text{ horas} \times 365 \text{ días} \times \text{factor de eficiencia}$

$C = 3 \times 25 \times 24 \text{ horas} \times 365 \text{ días} \times 0.5 = 328500 \text{ movimientos / año}$

Se debe cumplir que:

Capacidad de movimiento de los equipos debe ser mayor a Capacidad requerida en el patio

$328500 \text{ movimientos / año} > 237815 \text{ movimientos / año}$ ok

Por lo que se establece aleatoriamente el número de equipos para que cumpla esta condición.

IDENTIFICACIÓN DE CARGAS

En la zona establecida se almacenará carga en contenedores (800t/m² a 1300 t/m² – área 30x30cm) que según su tipo de clasificación establecido en la ROM se considera una carga de cálculo alta.

➤ **Cargas de almacenamiento según su material**

A falta de criterios específicos se toman los siguientes valores de carga y presión dados por la normativa ROM, según el material de la carga de almacenamiento:

Para graneles sólidos:

Graneles sólidos ordinarios: 0.08 MPa

Graneles sólidos pesados: 0.15 MPa

Para mercadería general:

Mercadería general convencional: 700 kn y 1.5 MPa

Mercadería general pesada: 1200kn y 2.0 MPa

➤ **Intensidad de uso.**

La normativa ROM indica que en caso de faltar datos de intensidad de uso se considera una intensidad media para cualquiera de los casos.

➤ **Categoría de tráfico**

Sabiendo la intensidad de uso media y carga de cálculo alta obtenemos como resultado una categoría de tráfico alta, según tabla 15.

➤ **Cargas estáticas**

Se consideran cargas estáticas a los contenedores de 1 TEUS Y 2 TEUS respectivamente, según la tabla 17, se ingresa con el valor de carga crítica que es 30480 kg (para contenedor reffer) ver tabla 11, designándose 40/60 (proporción de contenedores) que da como resultado una carga estática de 0.11 .

De acuerdo al equipo de manipulación en la tabla 20 se toma el valor de 1.1 para la presión de neumáticos (Mpa).

➤ **Cargas de rueda**

Cálculo del efecto dañino del equipo que va a manipular la carga mientras realiza la operación

Para grúa pórtico

$$D = \left(\frac{W}{12,000} \right)^{3.75} \left(\frac{P}{0.8} \right)^{1.25} N$$

$$D = \left(\frac{45886,5 \text{ kg}}{12000} \right)^{3.75} \left(\frac{1.1}{0.8} \right)^{1.25} (0.0011) = 0,2504 \text{ Kg.mpa}$$

Para cargador frontal

$$D = \left(\frac{W}{12,000} \right)^{3.75} \left(\frac{P}{0.8} \right)^{1.25} N$$

$$D = \left(\frac{22433.4 \text{ kg}}{12000} \right)^{3.75} \left(\frac{0.6}{0.8} \right)^{1.25} (0.0011) = 0,0080 \text{ Kg.mpa}$$

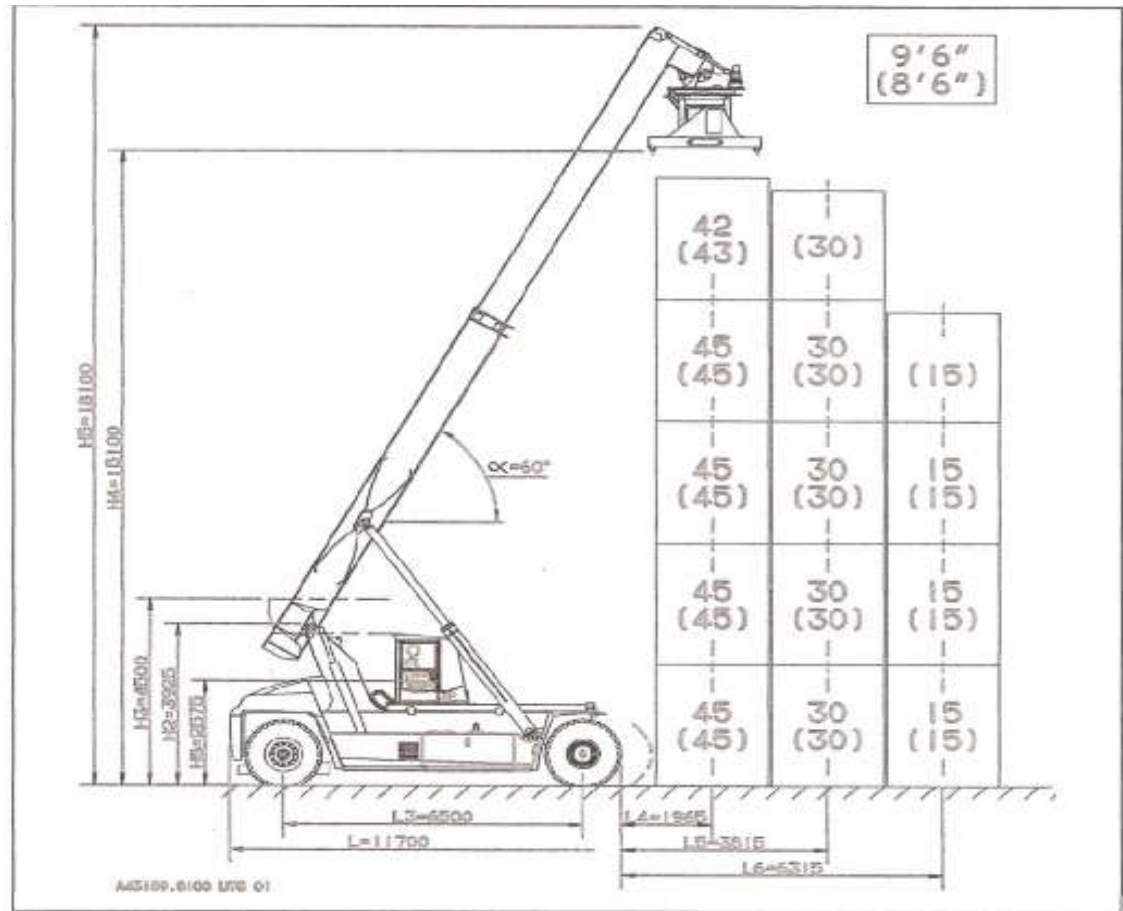
DISEÑO DE PAVIMENTO UTILIZANDO EL MANUAL BRITANICO DE

DISEÑO DE PAVIMENTOS PORTUARIOS (BPA)

➤ **Pavimento articulado**

Se ha establecido el diseño del pavimento articulado para la implementación en la mayor parte del área, por lo que su mantenimiento y reparación será más económico; para este diseño consideramos la grúa Reach Stacker que transitarán en el patio de operaciones del puerto con mayor frecuencia, generando mayor daño.

En la figura se muestra las dimensiones del equipo de operación.



Il·lustració 26. Configuració de grua Reach Stacker

Fuente: CONTECON

Cálculos:

➤ **Profundidad efectiva**

Con el valor de CBR de 3.5% obtenemos la profundidad efectiva de 3000 mm aplicando la fórmula:

$$\text{Profundidad efectiva} = 300 * \sqrt[3]{\frac{3500}{\text{CBR} * 10}}$$

$$\text{Profundidad efectiva} = 300 * \sqrt[3]{\frac{3500}{3.5 * 10}} = 3000 \text{ mm}$$

De la tabla 22 extraemos el factor de proximidad según el espaciamiento de ruedas de 6500 mm del equipo Reach Stacker y la profundidad efectiva de 3000mm. Como en la tabla el espaciamiento entre ruedas llega a 4875mm y nuestro valor sobrepasa, el valor del factor de proximidad es 1, lo que quiere decir que no existe interacción entre las tensiones producidas bajo cada rueda.

➤ **Cargas estáticas en cada rueda**

El peso que ejerce cada rueda se obtiene mediante la tabla 20 establecidas de la norma ROM (Recomendaciones de Obras Marítimas) ó mediante fórmulas como se muestra en el apartado 2.3.3.3.

Mediante el uso de la tabla obtenemos el peso ejercida en cada rueda de 220kn considerando el equipo de cargador frontal de 40 Ton.

➤ **Factores dinámicos establecidos por el equipo**

Se consideran cuatro tipos de factores que un pavimento puede estar sujeto: frenado, esquina, aceleración, superficie desigual; no se toman efectos de superficie desigual pues el paño a pavimentar es suficientemente grande para incluir este efecto.

Los efectos a considerar de la grúa Reach Stacker son de 30%, 40% y 10% respectivamente al orden anteriormente mencionado, dichos factores están establecidos en la tabla 21, lo que provoca un incremento del 80% a la carga que ejerce en cada rueda. Por lo que estimando dicho incremento calculamos el valor total de la carga tal como se muestra a continuación:

Carga total= (Carga en cada rueda+% de Carga)

% de Carga= (Carga en cada rueda*Incremento)

Tabla 29

Carga ejercida en cada rueda

Carga en cada rueda	220	Kn
Incremento	80%	
% de carga	176	Kn
Carga total	396	Kn

Diseño propio

La carga ejercida en cada rueda es de 396Kn

➤ **Número de pasadas**

Calculamos el número de pasadas mediante la siguiente fórmula:

$N = (\text{numero grúas} \times \text{rendimiento} \times 2 (\text{ida y vuelta}) \times \text{n}^\circ \text{ de días del año} \times \text{vida util})$

El número de grúas requeridas en nuestro patio es de 3 Reach Stacker que se muestran en cálculos anteriores, con un rendimiento de 25 Contenedores, durante 365 días del año, para su vida útil de 25 años.

$N = (3RS \times 25 \times 2 \times 365 \text{ días} \times 25 \text{ años})$

$N = 1368750$

El número total de pasadas es de 1368750 en 25 años.

Una vez calculados los parámetros obtenemos el espesor de la base ingresando al ábaco con el número de carga ejercida en cada rueda y el número de pasadas, como se muestra a continuación:

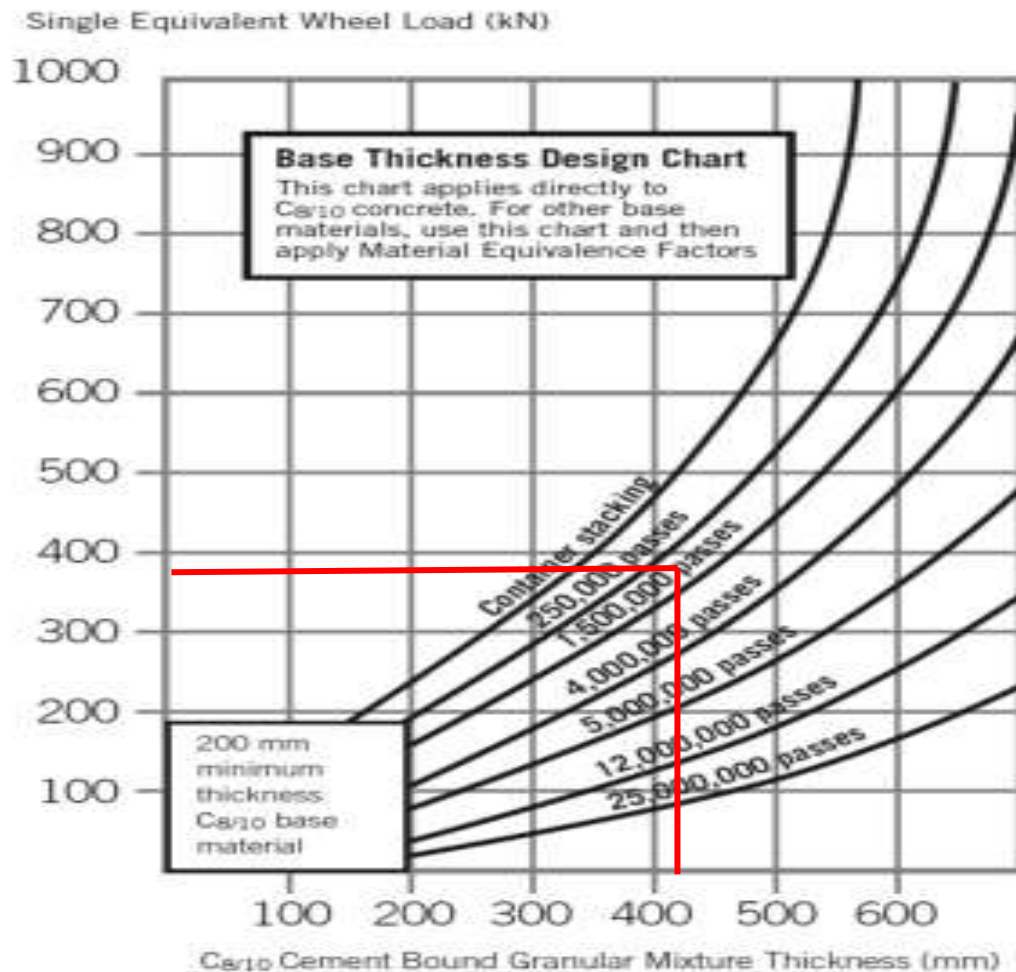


Ilustración 27. Abaco de diseño de base
Fuente: British Ports Association Design.

Con ello se obtuvo un espesor de 420mm de base.

El espesor y coronación de la sub base se establecen en la tabla 24 según el valor de CBR en nuestro caso contamos con un CBR 3.5%, donde obtenemos:

Espesor de coronación de 250mm y espesor de su-base de 150mm

Tabla 30

Resultado del diseño de la estructura

Resultados del diseño de la estructura						
Condición	Espesor adoquín	Capa de arena	Espesor de Base	Espesor de Sub-Base	Coronación	CBR

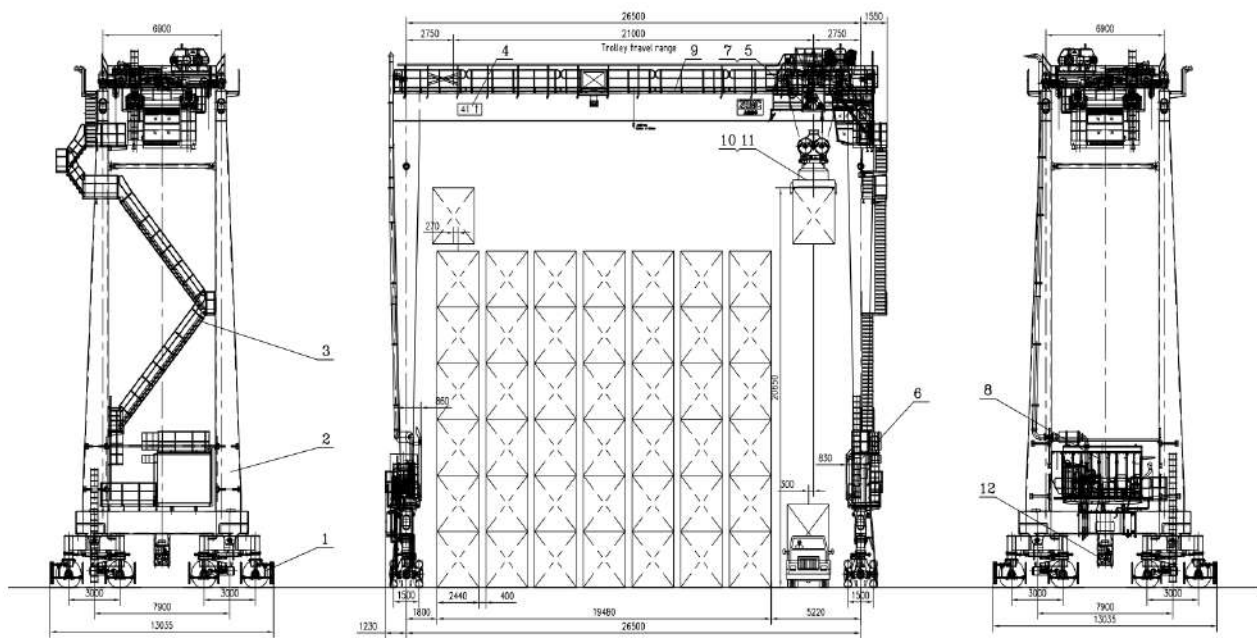
Frenado+						
Esquina+	120 mm	30mm	420mm	150mm	250mm	3,50%
Aceleración						

Diseño propio.

➤ Pavimento rígido

Utilizando el método del manual Británico de diseño de pavimentos portuarios (BPA) se ha establecido el diseño de pavimento rígido, por su mayor resistencia para el espacio que ocuparan las roderas que utilizan las grúas RTG para su operación.

Ilustración 28. Configuración de grúa RTG



Fuente: CONTECON

Cálculos:

El valor de la profundidad efectiva será el mismo que calculamos anteriormente.

De la tabla 22 extraemos el factor de proximidad según el espaciamiento de ruedas de 26500 mm del equipo RTG y la profundidad efectiva de 3000mm. Como en la tabla el espaciamiento entre ruedas llega a 4875mm y nuestro valor sobrepasa, el valor del factor de proximidad es 1, lo que quiere decir que no existe interacción entre las tensiones producidas bajo cada rueda.

➤ **Cargas estáticas en cada rueda**

El peso que ejerce cada rueda se obtiene mediante la tabla 20 establecidas de la norma ROM (Recomendaciones de Obras Marítimas) ó mediante fórmulas como se muestra en el apartado 2.3.3.3.

Mediante el uso de la tabla obtenemos el peso ejercida en cada rueda de 450Kn considerando el equipo pórtico de almacenamiento.

➤ **Factores dinámicos establecidos por el equipo**

Se consideran cuatro tipos de factores que un pavimento puede estar sujeto: frenado, esquina, aceleración, superficie desigual.

Los efectos a considerar de la grúa RTG son de 10%, 0%, 5% y 10% respectivamente al orden anteriormente mencionado, dichos factores están establecidos en la tabla 21, lo que provoca un incremento del 25% a la carga que ejerce en cada rueda. Por lo que estimando dicho incremento calculamos el valor total de la carga tal como se muestra a continuación:

Carga total= (Carga en cada rueda+% de Carga)

% de Carga= (Carga en cada rueda*Incremento)

Tabla 31

Carga ejercida en cada rueda

Carga en cada rueda	450	Kn
Incremento	25%	
% de carga	112.5	Kn
Carga total	562.5	Kn

Diseño propio.

La carga ejercida en cada rueda es de 562.5Kn

➤ **Número de pasadas**

Calculamos el número de pasadas mediante la siguiente fórmula:

$N = (\text{numero grúas} \times \text{rendimiento} \times 2(\text{ida y vuelta}) \times \text{n}^{\circ} \text{ de días del año} \times \text{vida util})$

El número de grúas requeridas en nuestro patio es de 6 RTG que se muestran en cálculos anteriores, con un rendimiento de 10 contenedores, durante 365 días del año, para su vida útil de 25 años.

$N = (6 \text{RTG} \times 10 \times 2 \times 365 \text{ dias} \times 25 \text{ años})$

N= 1095000

El número total de pasadas es de 1460000 en 25 años.

Una vez calculados los parámetros obtenemos el espesor de la base ingresando al ábaco con el número de carga ejercida en cada rueda y el número de pasadas, como se muestra a continuación:

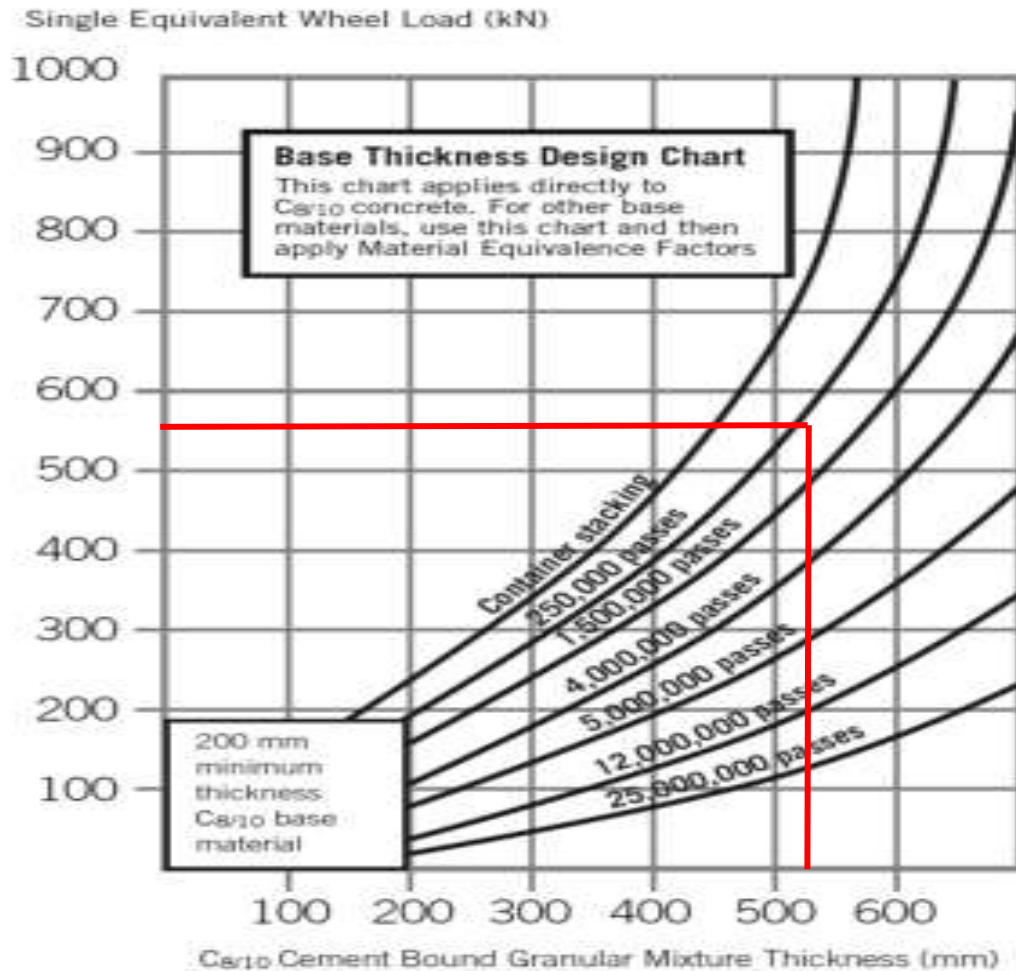


Ilustración 29. Abaco de diseño de base

Fuente: British Ports Association Design.

Con ello se obtuvo un espesor de 520mm de base.

El espesor y coronación de la sub base se establecen en la tabla 24 según el valor de CBR en nuestro caso contamos con un CBR 3.5%, donde obtenemos:

Espesor de coronación de 250mm y espesor de su-base de 150mm

Tabla 32

Resultado del diseño de la estructura

Resultados del diseño de la estructura				
Condición	BASE	Espesor de Sub-Base	Coronación	CBR
Frenado + Esquina + Aceleración + Superficie desigual	520mm	150mm	250mm	3,50%

Diseño propio

Análisis de Roderas para grúas RTG

Las roderas por donde transitará cada eje de apoyo de la grúa tienen las siguientes dimensiones 0.40 m de espesor, 3,00 m de ancho y 10 m de largo; se considera utilizar paños longitudinales de 10m acoplados con pasa juntas para transmitir la carga.

Para el hormigón se considera una resistencia a la compresión de $F_c = 350$ kg/cm² y para los aceros de refuerzo un esfuerzo de fluencia $F_y = 4200$ kg/cm².

Se realizaron análisis de esfuerzos considerando diferentes escenarios mediante el programa SAP2000, considerando un análisis de interacción viga-suelo con el modelo tipo viga elástica con resortes Winkler $k: 4 \text{ kg/cm}^3$, como se muestra a continuación.

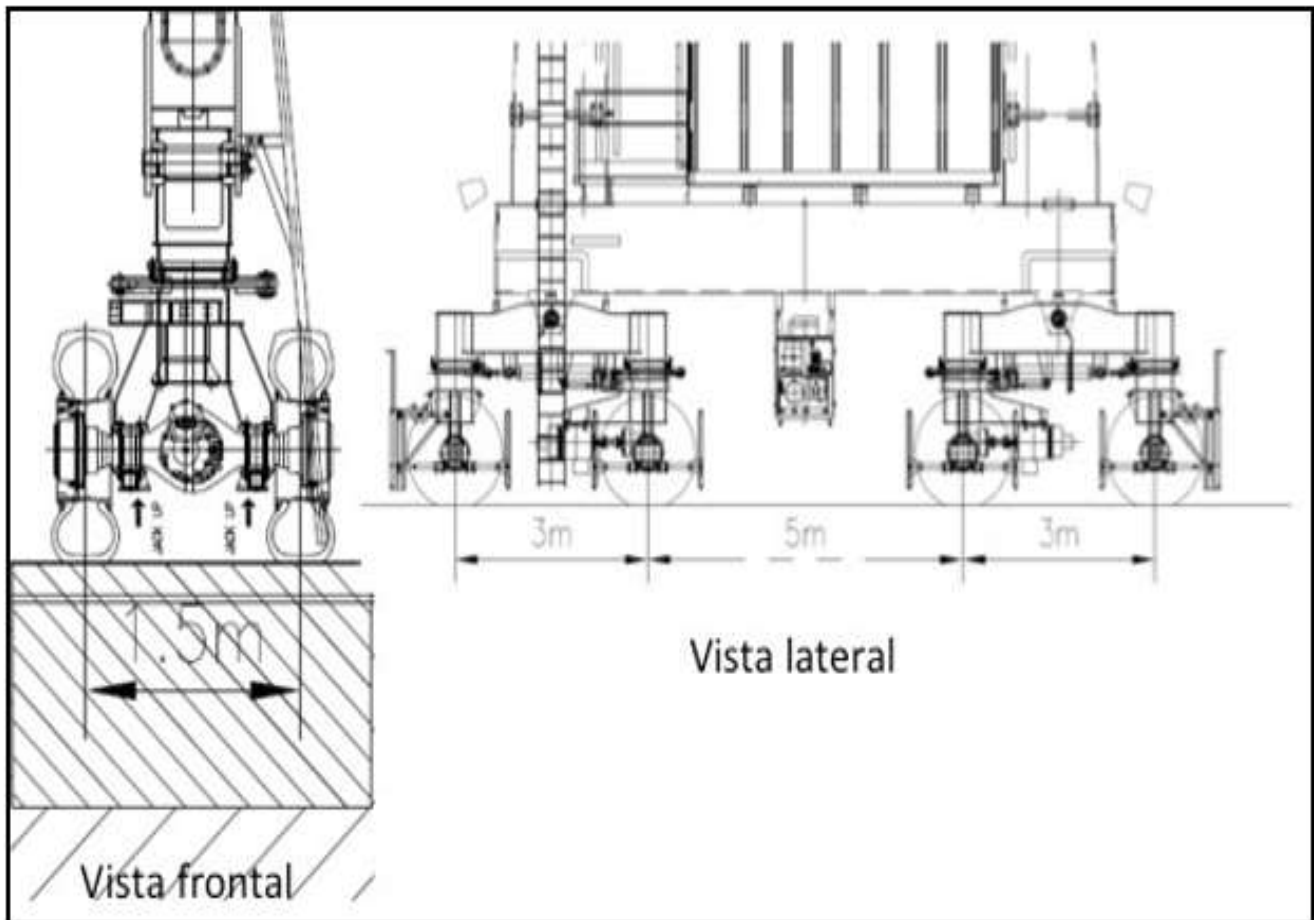


Ilustración 30 Distribución lateral y frontal del tren de llantas de la grúa RTG
Fuente: CONTECON

Peso considerado por rueda = 45 Ton

Peso mayorado= $1.4 \times$ carga muerta = 63 Ton

Modelación

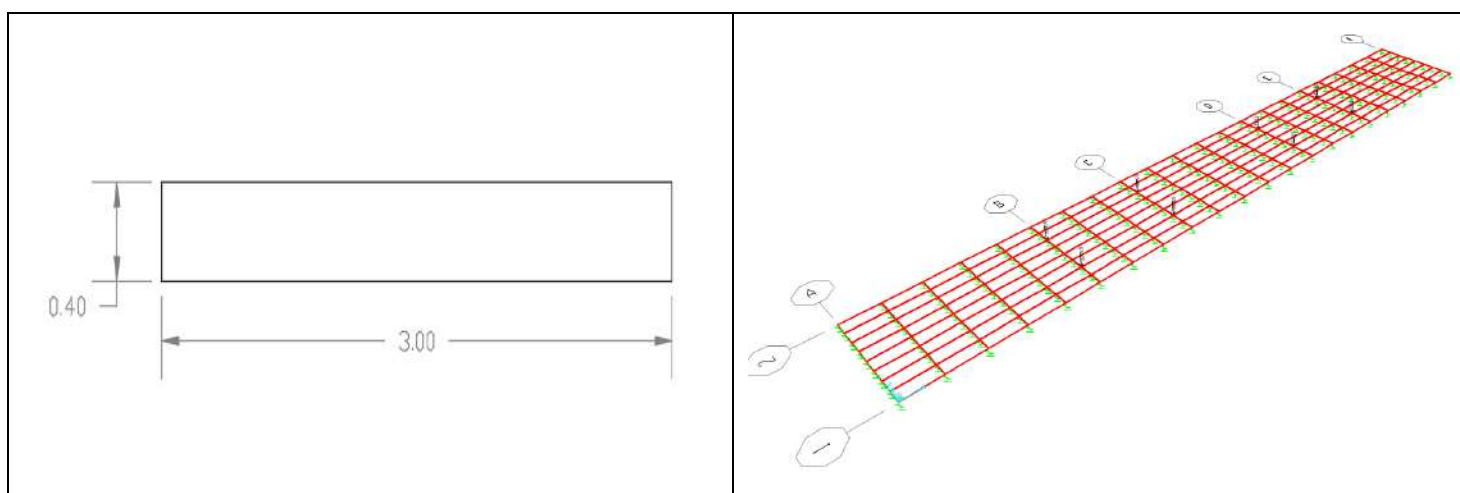


Ilustración 31. Modelación de la viga rodera.
Diseño propio.

Resultados

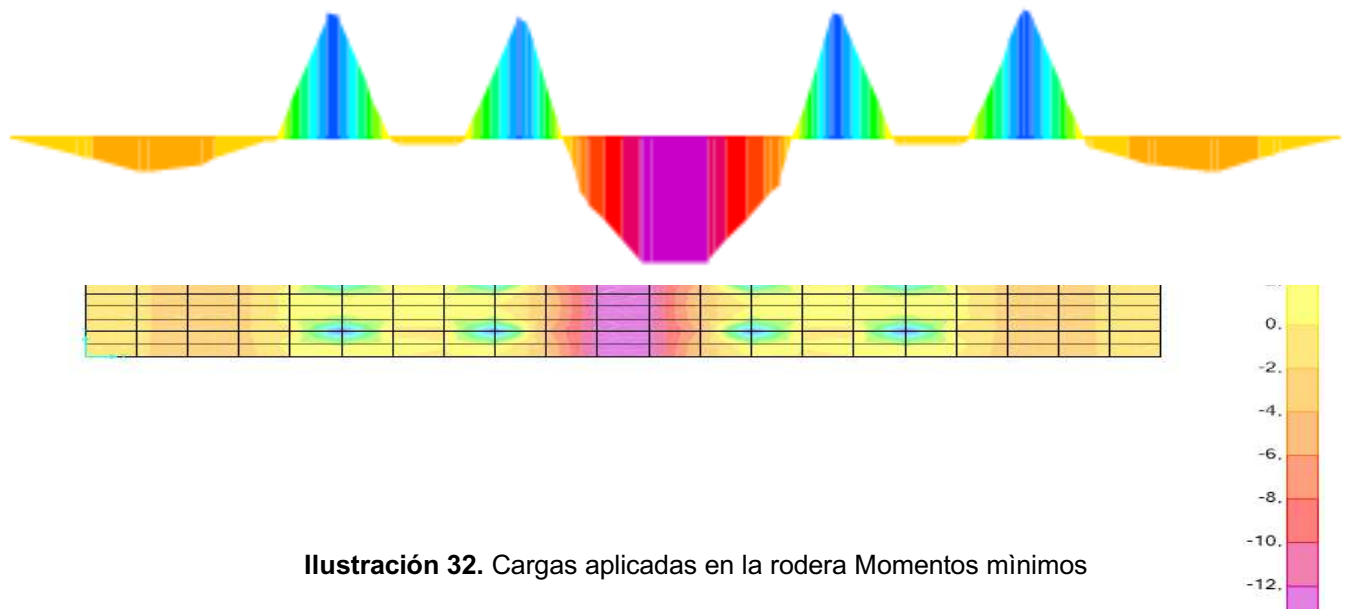


Ilustración 32. Cargas aplicadas en la rodera Momentos mínimos

Momentos Mínimos

Diseño propio

Diseño propio

Momento +

14.045 Ton – m

Momento –

13.20 Ton – m

Momentos máximos

Ilustración 33. Corte Momentos mínimos

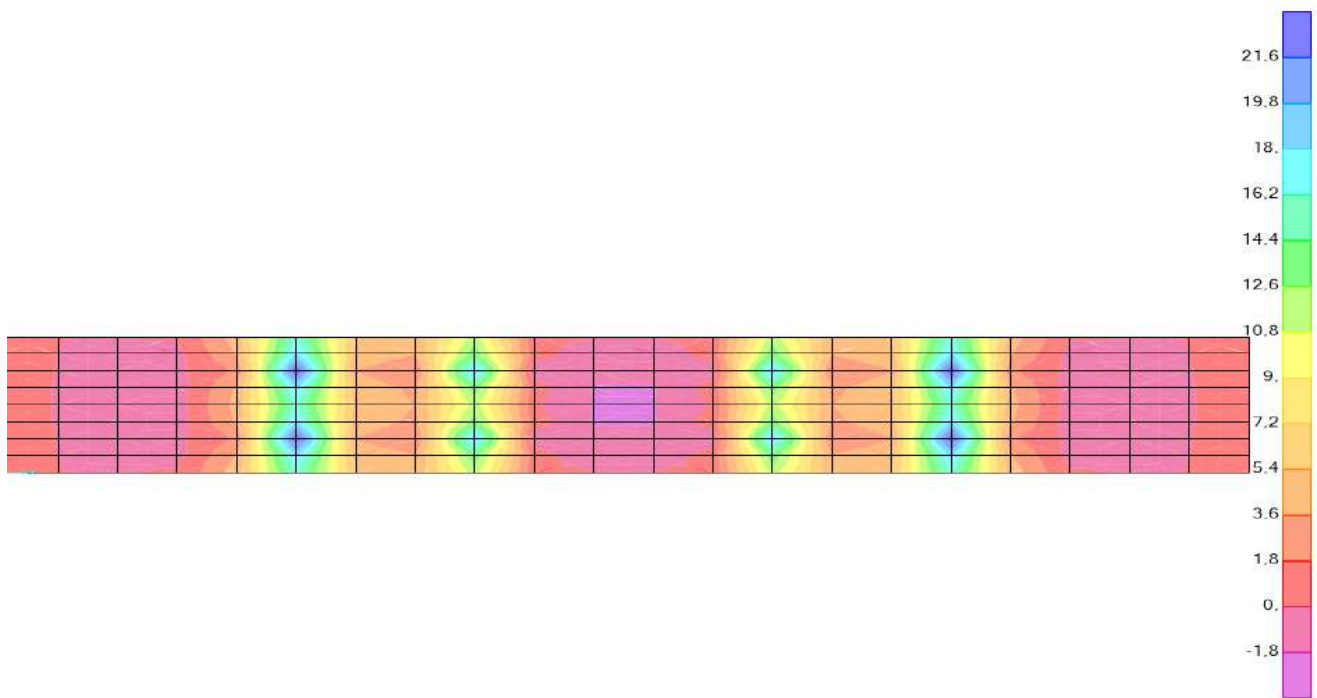


Ilustración 34. Diagrama de cargas aplicada en la rodera.
Diseño propio

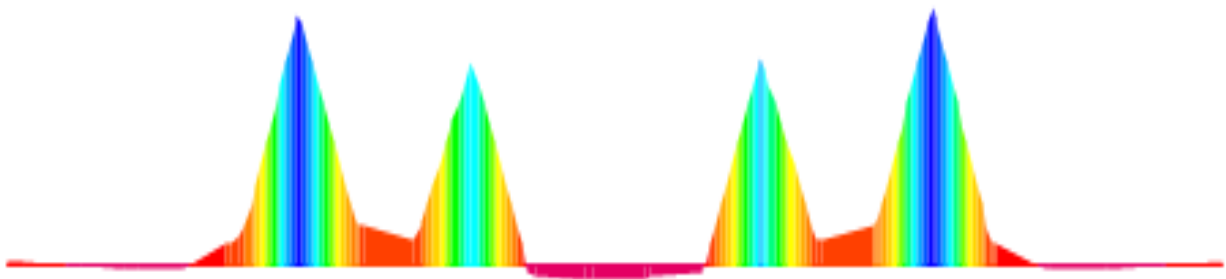


Ilustración 35. Corte Momentos máximos
Diseño propio

Momento +

23.26 Ton – m

Momento –

1.90 Ton – m

1.2. Análisis de trabes de contenedores

De acuerdo al tipo de contenedor Reefer de 2 Teus de 2.23m x 10.05 (dimensión en planta) de 30.48 Ton. Los contenedores se apoyan en los extremos sobre las vigas, teniendo como máximo 6 filas de contenedores verticalmente.

La viga o trabe tiene las siguientes dimensiones: 2,00 m de ancho, 15.61m de largo y 0.40m d espesor. Se realizaron análisis de esfuerzos considerando

diferentes escenarios mediante el programa SAP2000, considerando un análisis de interacción viga-suelo con el modelo tipo viga elástica con resortes Winkler $k:4\text{kg}/\text{cm}^3$, como se muestra a continuación.

Peso considerado por contenedor = 30.5 Ton

Peso mayorado = $1.4 * \text{carga muerta} * 6 = 256.2 \text{ Ton}$

MODELACION

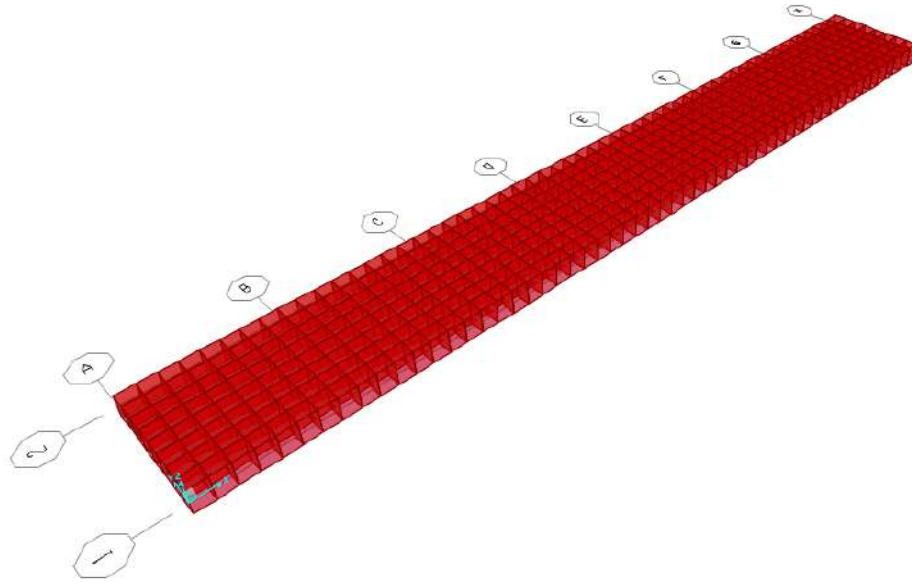


Ilustración 36. Modelación de la viga trabe
Diseño propio

Se analizaron 2 tipos de casos de cargas para el diseño de la viga trabe, como se muestra a continuación.

CASO DE CARGA COMPLETA

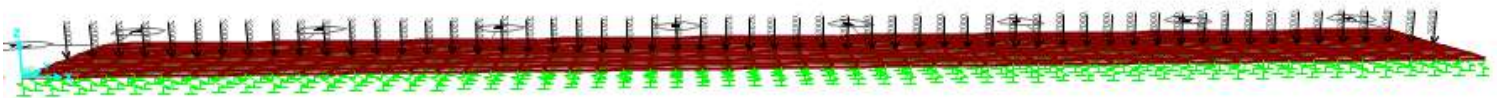


Ilustración 37. Caso de carga completa en viga trabe
Diseño propio.

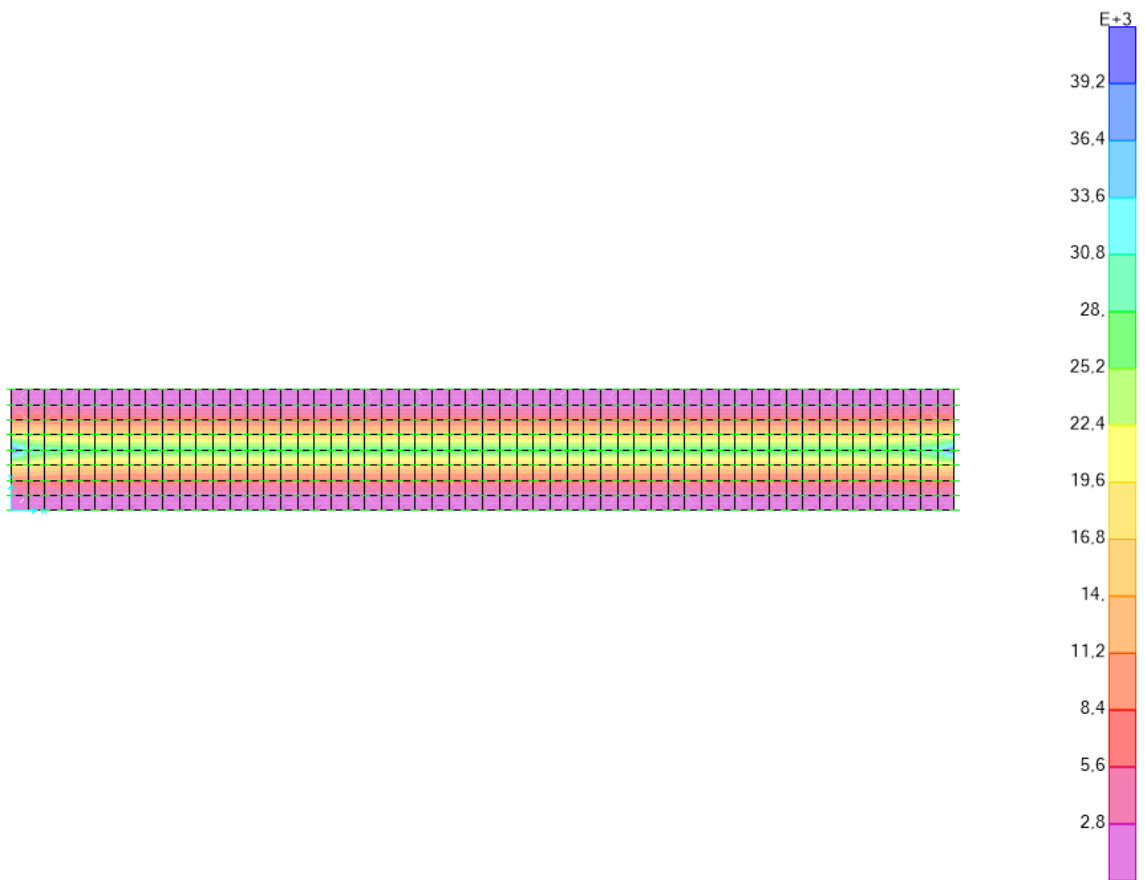


Ilustración 38. Diagrama de cargas aplicadas en viga trabe
Diseño propio

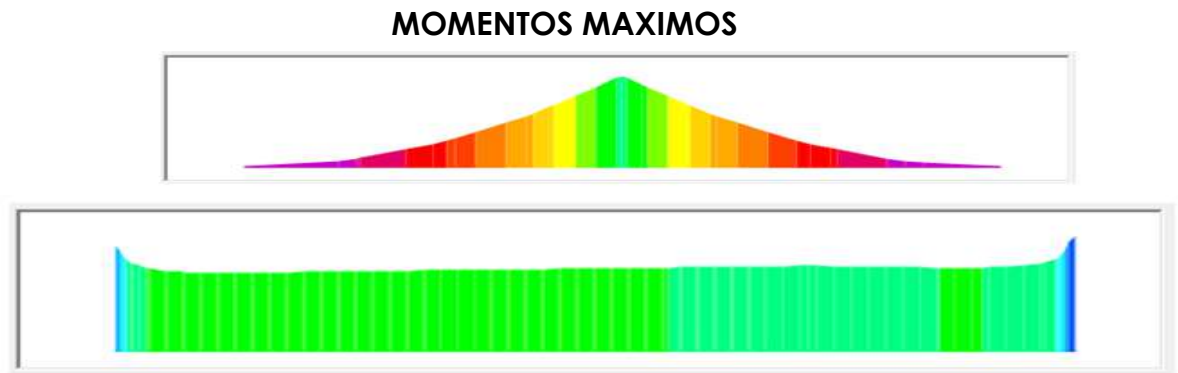


Ilustración 39. Corte de momentos máximos de la viga trabe.
Diseño propio.

MOMENTOS MINIMOS

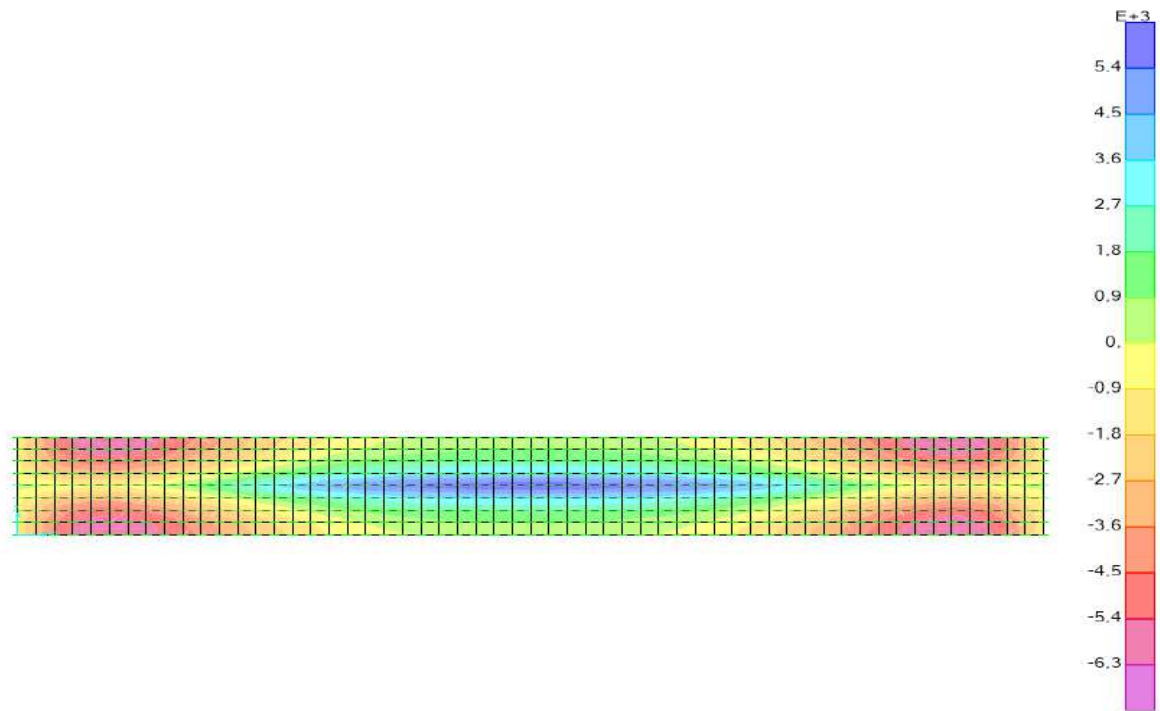


Ilustración 40. Diagrama de cargas aplicadas en la viga trabe.
Diseño propio.

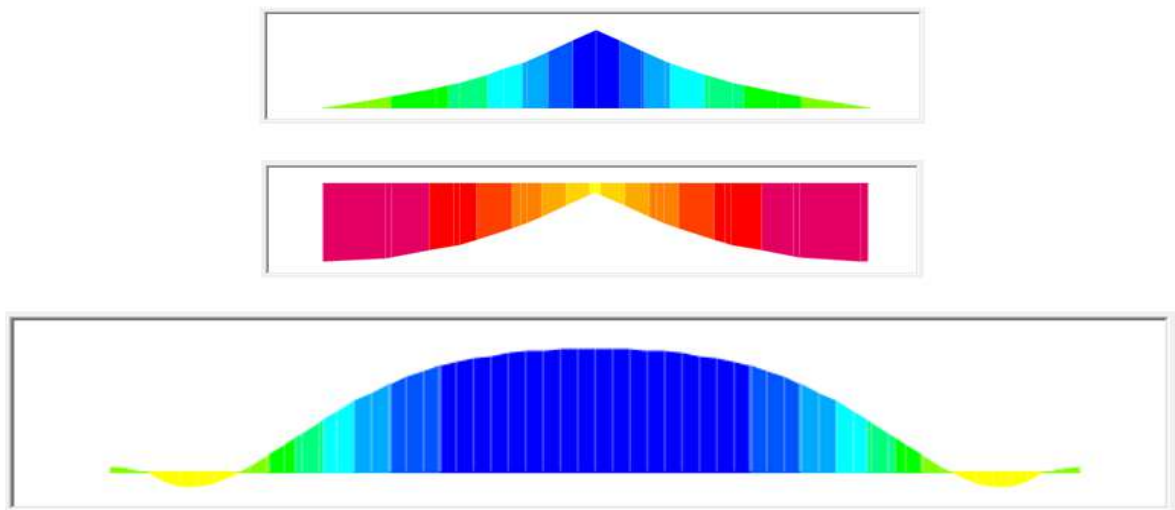


Ilustración 41. Diagrama de momentos mínimos
Diseño propio.

CASO DE CARGA NO CONTINUA

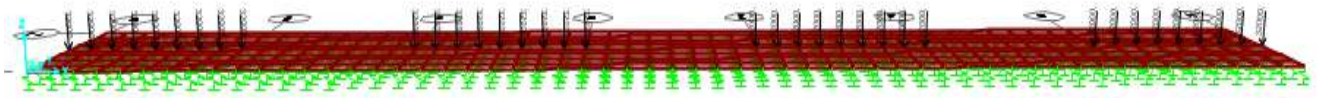


Ilustración 42. Caso de carga no continua en la viga trabe
Diseño propio.

MOMENTOS MAXIMOS

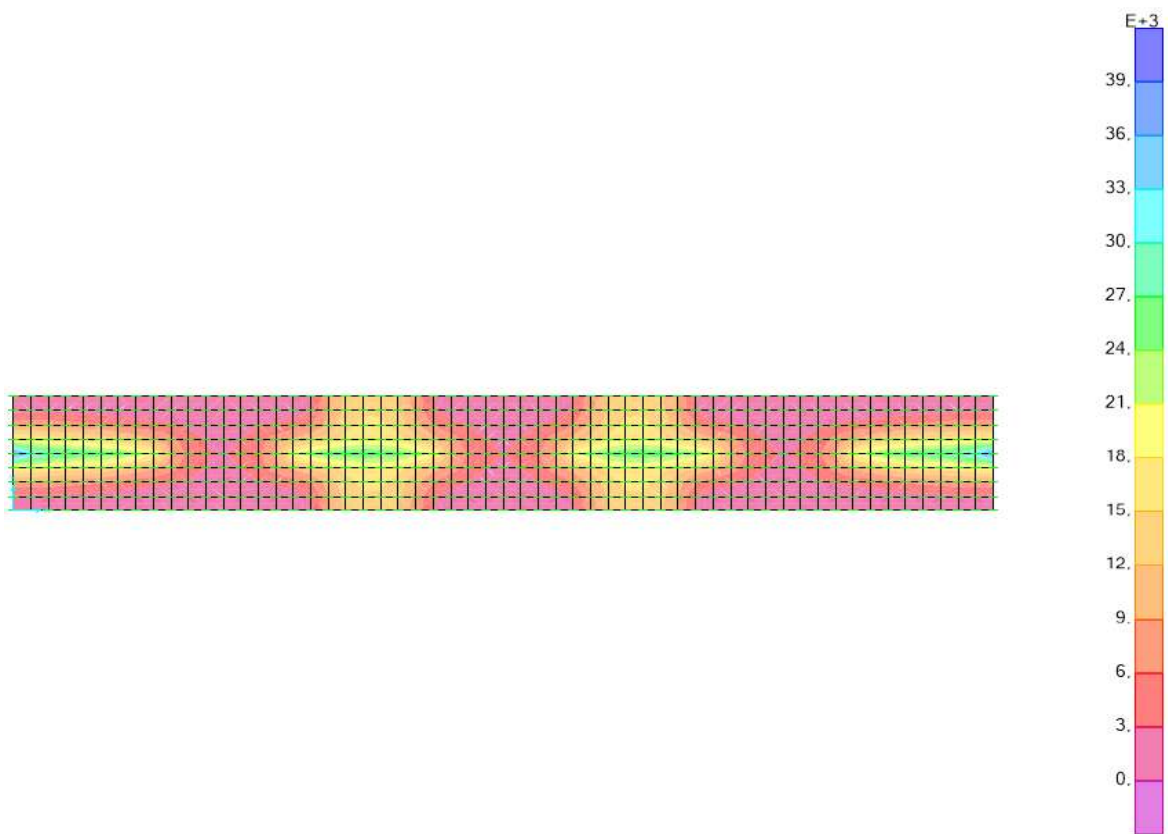


Ilustración 43. Diagrama de cargas aplicadas en la viga trabe (Momentos máximos)
Diseño propio.

MOMENTOS MINIMOS

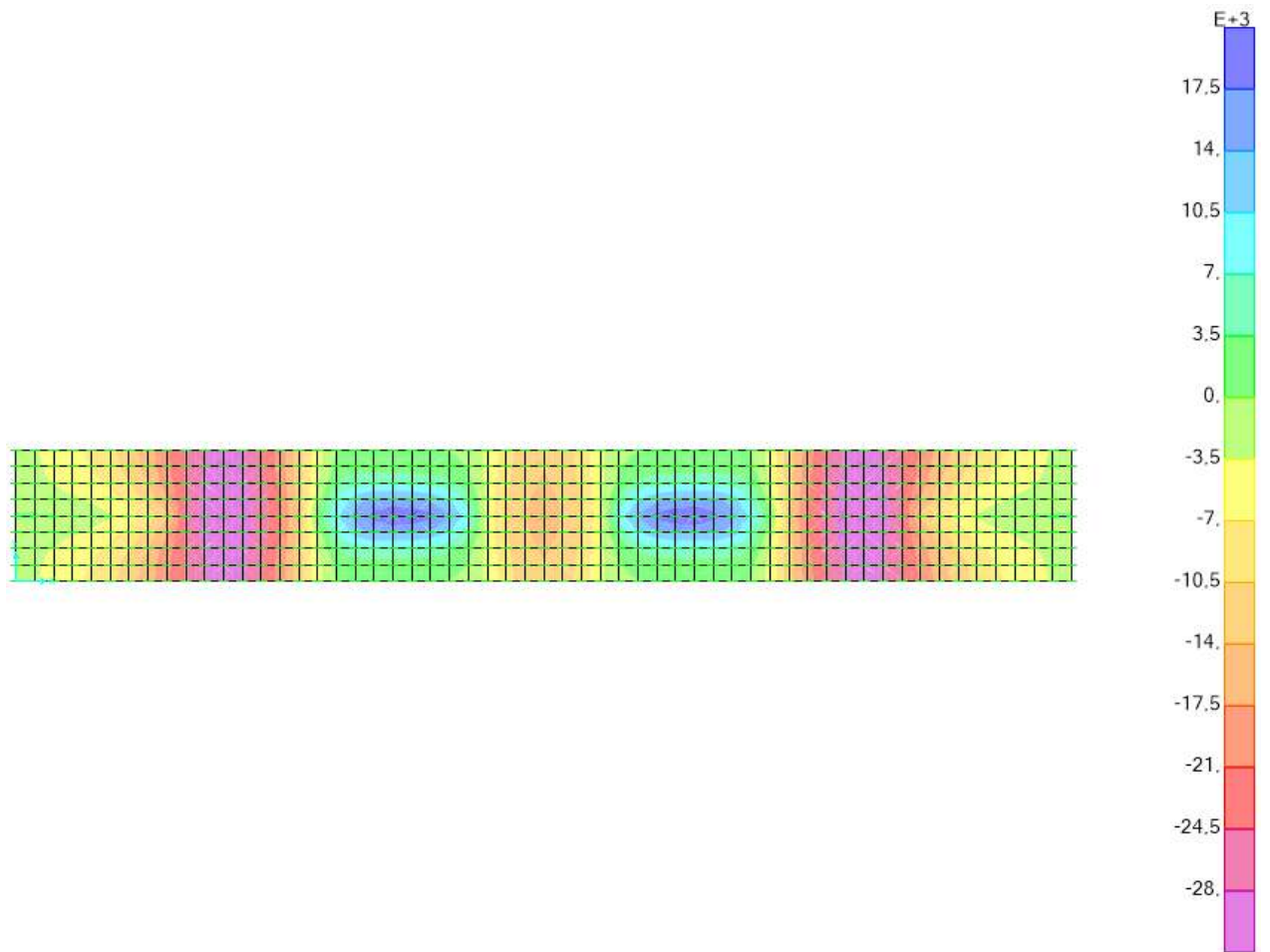


Ilustración 44. Diagrama de cargas aplicadas en la viga trabe (Momentos mínimos)
Diseño propio.

Momentos +
40414.78 KG-M
Momentos -
6298.23 KG-M

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las diversas operaciones que se realizan en un patio de contenedores generan la necesidad de tener dos tipos de pavimento en su estructura, los cuales son articulado y rígido.

Las cargas efectivas que se analizaron fueron mediante las Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM).

Para el diseño de pavimento articulado se utilizó las cargas del equipo Reach Stacker ya que éste se movilizará por las zonas de maniobra, almacenamiento y ejerce más daño sobre el pavimento, así como para el pavimento rígido, se analizará las cargas efectivas de la grúa RTG.

Se ha establecido roderas para la operación de grúas RTG y trabes o vigas para los apoyos de contenedores cumpliendo con las resistencias requeridas del ACI318 $f'c: 350\text{kg/cm}^2$, $f_y: 4200\text{ Kg/cm}^2$

Las normas que mejor se aplican para el cálculo de espesores de las capas del pavimento para el patio de contenedores serán las del British Ports Association (BPA), porque trabaja con cargas muy altas como las aplicadas en este proyecto.



Bibliografía

- Contecon Guayaquil, S. (3 de marzo de 2015). *Manual de servicios Portuarios para la Terminal Multiproposito del Puerto de Guayaquil*. Obtenido de <http://www.cgsa.com.ec/Files/ZonaDescarga/ServiciosTarifas/ManualServicios052017.pdf>.
- Fonseca, A. M. (2002). *Ingenieria de Pavimetos*. Colombia: Agora Editores.
- Harmsen, T. (2005). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ing. Mario Becerra Salas, P. (2012). *Tópicos de Pavimento de Concreto, Diseño, Construcción y Supervisión*. Lima.
- Llorca. (1994). RECOMENDACIONES DE OBRAS MARITIMAS. En Llorca, *RECOMENDACIONES DE OBRAS MARITIMAS 4.1* (pág. 33). España.
- Marì, R., de Sousa, A., Martín , J., & Rodrigo , J. (2003). *El transporte de contenedores Terminales, operatividad y causuística*. Barcelona: UPC.
- METODO AASHTO 93 PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS. (s.f.).
- Moldtrans, G. (126 de Junio de 2015). *Grupo MOLDTRANS*. Obtenido de <https://www.moldtrans.com/origen-e-historia-de-los-contenedores-del-transporte-maritimo>
- Montse Bosch González, S., & del Portal Latas, M. (2002). *Pavimentos Nuevos Revestimientos*. Barcelona: Edicions UPC.

Ing. Eduardo Santos Baquerizo MSc.

Título: Ingeniero Civil - Universidad de Guayaquil. Magister en Docencia y Gerencia en Educación Superior. MSc
Magister en Geotecnia Universidad de Guayaquil - Facultad de Ciencias
Matemáticas y Físicas. Doctorado en Ciencias Ambientales. Perú. Decano - Facultad de Ciencias Matemáticas y
Físicas de la Universidad de Guayaquil. Decano - Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad Politécnica
del Litoral. Vicedecano - Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad Politécnica del Litoral. Docente
Carrera de Ingeniería Civil- Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil. Docente -
Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad Politécnica del Litoral

Ing. Lozano Bustamante Andrea Valeria

Título: Ingeniera Civil - Universidad de Guayaquil

Ing. Sotomayor Rodríguez Dayanna Alejandra

Título: Ingeniera Civil - Universidad de Guayaquil

Ing. Julio Vargas Jiménez MS.c,

Título: Ingeniero Civil - Universidad de Guayaquil . Magister en Geotecnia Universidad de Guayaquil - Facultad de
Ciencias. Matemáticas y Físicas – Universidad de Guayaquil
Docente Titular asignaturas de Mecánica de Suelos, Laboratorio de Suelos y Tecnología de Materiales de la
Carrera de Ingeniería Civil - Facultad de Ciencias. Matemáticas y Físicas – Universidad de Guayaquil
Gerente Técnico de Consultoría, Ingeniería y Servicios CINSER C.LTDA. Consultor Geotécnico.
Director de Laboratorio de Suelos y Materiales: Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas
- Universidad de Guayaquil. Coordinador de Posgrado Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas - Universidad
de Guayaquil.

Ing. Francisco Javier Córdova Rizo, MS.c

Título: Ingeniero Civil - Universidad de Guayaquil. Magister en Docencia y Gerencia en Educación Superior –
Unidad de Posgrado - Universidad de Guayaquil. Magister en Geotecnia Universidad de Guayaquil - Facultad de
Ciencias Matemáticas y Físicas – Universidad de Guayaquil. Vicedecano de la Facultad de Ciencias Matemáticas y
Físicas - Universidad de Guayaquil. Docente en las asignaturas de Carreteras I y Diseño Vial – ingeniería Civil -
Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas – Universidad de Guayaquil. Consultor Vial

ISBN: 978-9942-770-54-7



compAs