

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**DISEÑO DEL PAVIMENTO PARA EL NUEVO PATIO DE
ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES DEL TERMINAL
PORTUARIO DE SALAVERRY**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

MAGALI EMMA SALINAS VARGAS

Lima- Perú

2011

ÍNDICE

RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	5
INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I: PERFIL DEL PROYECTO	8
1.1. ANTECEDENTES	8
1.1.1. Situación Actual del Puerto	8
1.1.2. Planteamiento del problema	10
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	10
1.2.1. Objetivo General	10
1.2.2. Objetivos Específicos	10
1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	11
1.3.1. Nombre del Proyecto	11
1.3.2. Descripción Técnica del Proyecto	11
1.3.3. Beneficios del Proyecto	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	14
2.1. ASPECTOS GENERALES	14
2.2. USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS	14
2.2.1. Zonas de Almacenamiento	14
2.2.2. Almacenamiento de contenedores	15
2.3. TIPOS DE CARGAS PARA PAVIMENTOS PORTUARIOS	15
2.3.1. Cargas de almacenamiento	15
2.3.2. Cargas de equipos de manipulación de contenedores	18

2.3.3.	Cargas de tráfico pesado convencional	18
2.3.4.	Cantidad máxima y óptima de contenedores apilados	18
2.3.5.	Efectos de frenado y aceleración	19
2.4.	MÉTODOS DE DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS PORTUARIOS	19
2.4.1.	Hipótesis de Burmister	20
2.4.2.	Hipótesis de Westergaard	22
2.4.3.	Factores de dimensionamiento	23
2.4.4.	Método Empírico de la BPA	23
2.5.	MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE PAVIMENTOS	28
2.5.1.	Daños en estructuras de pavimento rígido	28
2.5.2.	Técnicas para la conservación de pavimentos rígidos	29
 CAPÍTULO III: DISEÑO DEL PAVIMENTO DEL PATIO DE CONTENEDORES		 31
3.1.	DIMENSIONAMIENTO DEL PAVIMENTO PORTUARIO	31
3.1.1.	Criterios de Diseño del Pavimento	31
3.1.2.	Procedimiento de Dimensionamiento del Pavimento	34
3.1.3.	Dimensionamiento del Área del Patio de Almacenamiento	35
3.2.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO	38
3.2.1.	Cálculo de Cargas Estáticas	38
3.2.2.	Cálculo de Cargas Dinámicas	40
3.3.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	53
3.3.1.	Efecto de Cargas Estáticas y Dinámicas sobre el pavimento	53
3.3.2.	Elección de cargas para efectos de diseño	54
3.4.	DISEÑO DEL PAVIMENTO PORTUARIO	54
 CAPÍTULO IV: EXPEDIENTE TÉCNICO		 58
4.1.	MEMORIA DESCRIPTIVA	58
4.1.1.	Subsuelo	58

4.1.2.	Capa de Sub rasante mejorada	58
4.1.3.	Sub base	58
4.1.4.	Diseño del pavimento para el apilamiento de contenedores	58
4.2.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	59
4.2.1.	Generalidades	59
4.2.2.	Construcción del pavimento del patio de contenedores	60
4.3.	INSPECCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD	77
4.3.1.	Control de calidad y tolerancias de capas inferiores	77
4.3.2.	Superficie de rodadura de adoquines de concreto	80
4.4.	ASPECTOS AMBIENTALES	84
4.4.1.	Objetivos de la Evaluación Ambiental	84
4.4.2.	Impactos Ambientales durante la etapa de construcción	84
4.4.3.	Impactos Ambientales durante la etapa de operación	85
4.4.4.	Medidas Ambientales en Explotación de Canteras y Zonas de Préstamo	85
4.4.5.	Medidas Ambientales en Depósito de Excedentes	85
4.5.	COSTOS Y PRESUPUESTOS	86
4.6.	PROGRAMACIÓN	88
4.7.	PLANOS	88
	CONCLUSIONES	89
	RECOMENDACIONES	90
	BIBLIOGRAFÍA	91
	ANEXOS	93

RESUMEN

El proyecto de ampliación del patio de almacenamiento y manipuleo de contenedores para el Puerto de Salaverry de los actuales 17,576 m² a 60,000 m², garantiza el incremento de la demanda del flujo de contenedores, hasta el año 2022, cuya tasa de crecimiento es del 5%.

El método de diseño utilizado para la construcción del nuevo patio de almacenamiento de contenedores es el método de la British Ports Association - BPA (Asociación Británica de Puertos), el cual está basado en el uso de ábacos de cargas y espesores de base para el pavimento a diseñar.

Los equipos escogidos para el manipuleo y transporte de contenedores cargados y vacíos son el stacker (cargador frontal), el fork lift (grúa de horquillas) y los tráiler con semirremolque. Estos equipos ocasionan cargas sobre el pavimento de grandes magnitudes, alcanzando niveles de hasta 940 KN. Con el método de diseño seleccionado y el análisis de cargas que actúan sobre el pavimento, se realizó el diseño del mismo; teniendo en cuenta los factores de seguridad obtenidos de cuadros proporcionados por la BPA.

El presente informe analiza las necesidades del patio de almacenamiento requeridas para la actual demanda de contenedores, la cual asciende a 107,751 contenedores al año 2022. El patio de almacenamiento ha sido diseñado para esta demanda, teniendo en cuenta los equipos de manipuleo a utilizar. De este análisis se determinó una capacidad de almacenamiento en el patio de 2,300 contenedores de 40 pies, tanto para contenedores cargados como vacíos.

Para el diseño del patio se realizó un análisis del equipamiento del patio de contenedores, tomando en cuenta factores como el costo del terreno, pavimento, productividad y costo de los equipos. Para la superficie de rodadura final, se optó por los bloques de concreto pre fabricados, en dimensiones de 200x100x80 mm, con resistencia igual a 300 kg/cm², por su menor costo, fácil reposición, bajo costo de mantenimiento y excelente adaptación al terreno, eximiéndose de fallas producidas por asentamiento, fisuras, agrietamientos y otros.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.01 Área Total de Almacenaje disponible	12
Cuadro N° 3.01 Datos técnicos de los equipos de manipuleo de contenedores	33
Cuadro N° 3.02 Datos técnicos de los equipos de transporte de contenedores	34
Cuadro N° 3.03 Demanda de Contenedores al año 2022	36
Cuadro N° 3.04 Dimensiones de Contenedores de 40 pies (FEU = 2 TEUS)	36
Cuadro N° 3.05 Parámetros de dimensionamiento para el área del patio de contenedores	37
Cuadro N° 3.06 Área requerida para el patio de almacenamiento de contenedores	37
Cuadro N° 3.07 Datos técnicos de los equipos de manipuleo de contenedores	38
Cuadro N° 3.08 Factores de carga dinámica (fd). Las cargas estáticas están incrementadas por los porcentajes que figuran en esta tabla	42
Cuadro N° 3.09 Factores de proximidad de ruedas para el Stacker	44
Cuadro N° 3.10 Factores de proximidad de ruedas para el Tráiler y semirremolque	50
Cuadro N° 3.11 Cargas máximas y espesores de base del pavimento por efecto de cargas estáticas y dinámicas	54
Cuadro N° 4.01 Sección de pavimento de diseño	59
Cuadro N° 4.02 Propiedades Físicas de la Subrasante mejorada	64
Cuadro N° 4.03 Propiedades Físicas de la Sub base	64
Cuadro N° 4.04 Clasificación Granulométrica de material CBM4	68
Cuadro N° 4.05 Clasificación de material para la capa de asiento	76
Cuadro N° 4.06 Clasificación de arena de unión	76

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.01 Ubicación geográfica del Puerto Salaverry	8
Figura N° 1.02 Vista en planta del Puerto de Salaverry	9
Figura N° 1.03 Vista panorámica del Puerto Salaverry	11
Figura N° 3.01 Arreglo de bloque de contenedores	39
Figura N° 3.02 Diagrama de dimensiones y pesos utilizados en los cálculos de las cargas de las ruedas del equipo – Reach Stacker	40

Figura N° 3.03 Esquema de cargas sobre ruedas en el eje delantero del Stacker	43
Figura N° 3.04 Esquema de cargas sobre ruedas en el eje trasero del Stacker	43
Figura N° 3.05 Diagrama de dimensiones y pesos utilizados en los cálculos de las cargas de las ruedas del equipo – Tráiler y Semirremolque	46
Figura N° 3.06 Esquema de cargas sobre ruedas en el eje delantero del Tráiler	49
Figura N° 3.07 Esquema de cargas sobre ruedas en el eje trasero del Tráiler	49
Figura N° 3.08 Esquema de cargas sobre ruedas en el eje del Semirremolque	49
Figura N° 3.09 Esquema de cargas sobre ruedas de ejes longitudinales del Tráiler y Semirremolque	50
Figura N° 3.10 Esquema de diseño del pavimento del patio de almacenamiento de contenedores	57

INTRODUCCIÓN

El presente informe se trata acerca del diseño del pavimento del nuevo patio de almacenamiento de contenedores, debido a que las áreas de almacenamiento existentes en el terminal portuario de Salaverry no han sido diseñadas para satisfacer la demanda proyectada de contenedores, lo cual implica la utilización de un patio cercano al muelle que permita acortar los tiempos por movilización de los mismos, con grandes áreas adecuadas para el almacenamiento de estos contenedores; que cubran las necesidades planteadas en el perfil y en este informe, tanto en infraestructura como en equipamiento. Este informe busca elaborar un diseño que provea un mismo espesor en todo el patio de contenedores, haciendo la construcción del pavimento más simple.

El Primer Capítulo, hace referencia a la ubicación y a la situación actual del Puerto de Salaverry. También se especifican la descripción del proyecto, los objetivos y los beneficios de éste.

El Segundo Capítulo, describe las distintas zonas de almacenamiento que se utilizan en los puertos, los métodos que más utilizados para el diseño de las superficies de dichas zonas y la reparación de las mismas.

El Tercer Capítulo, trata sobre la elaboración del Diseño del Pavimento del Patio de Contenedores del Puerto de Salaverry: el método utilizado, el análisis y los cálculos realizados y, la interpretación de los resultados obtenidos. Logrando así el diseño final del proyecto.

En el Cuarto Capítulo, se analizan las bases que hacen posible la realización del proyecto que se presenta en este informe. El estudio previo correspondiente, las especificaciones técnicas, el estudio del impacto ambiental del proyecto, el análisis de los costos y presupuestos del mismo, también el estudio de tiempos de llevar a cabo el proyecto.

Finalmente, este proyecto garantiza el mejoramiento económico de la zona del Puerto de Salaverry. Pero para su máximo provecho se debe seguir las recomendaciones aquí presentadas.

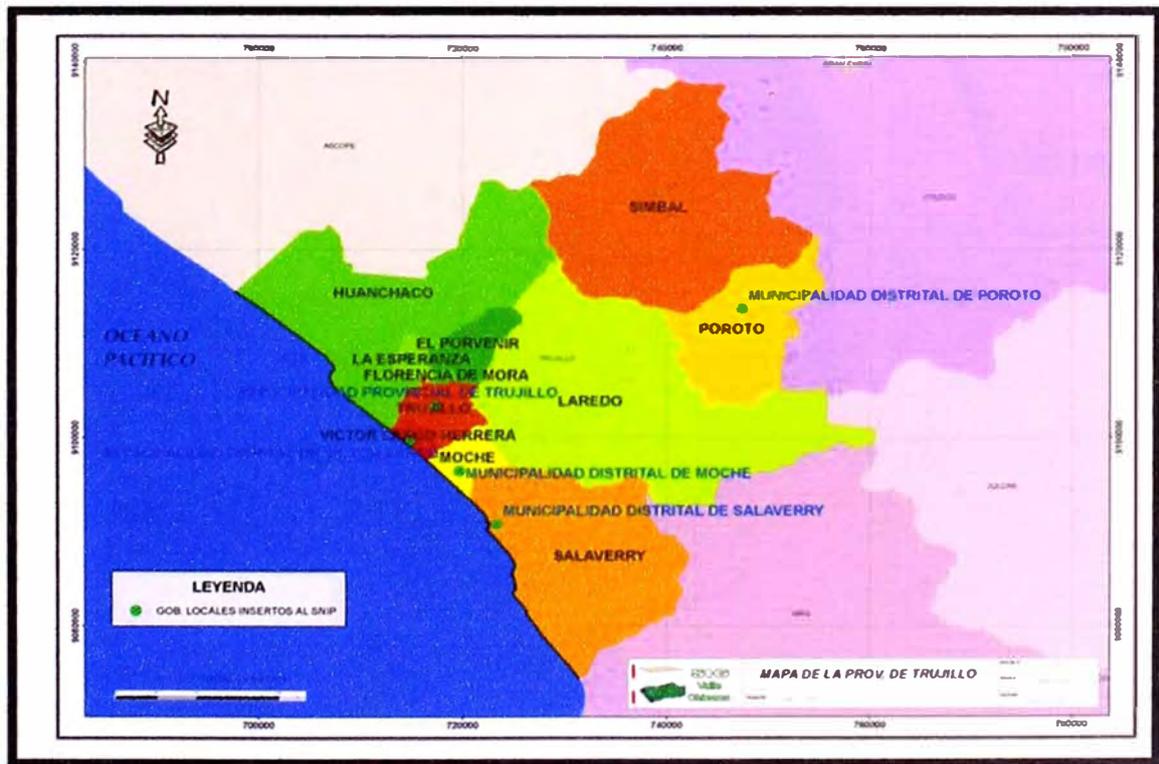
CAPÍTULO I: PERFIL DEL PROYECTO

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Situación Actual del Puerto

El Puerto de Salaverry fue creado mediante Decreto Supremo el 9 de Marzo de 1870. Se encuentra ubicado en el Distrito de Salaverry, Provincia de Trujillo, Departamento La Libertad, a 12 km al suroeste de la ciudad de Trujillo, a 560 km al norte del Callao y a 8 km de la carretera Panamericana, tal como se muestra en la figura N° 1.01. El Terminal Portuario de Salaverry se encuentra bajo la administración de ENAPU (Empresa Nacional de Puertos) brindando servicio a la ciudad de Trujillo así como a los vecinos departamentos de Ancash, Lambayeque y Cajamarca, que constituyen el área de influencia del puerto.

Figura N° 1.01 Ubicación geográfica del Puerto Salaverry



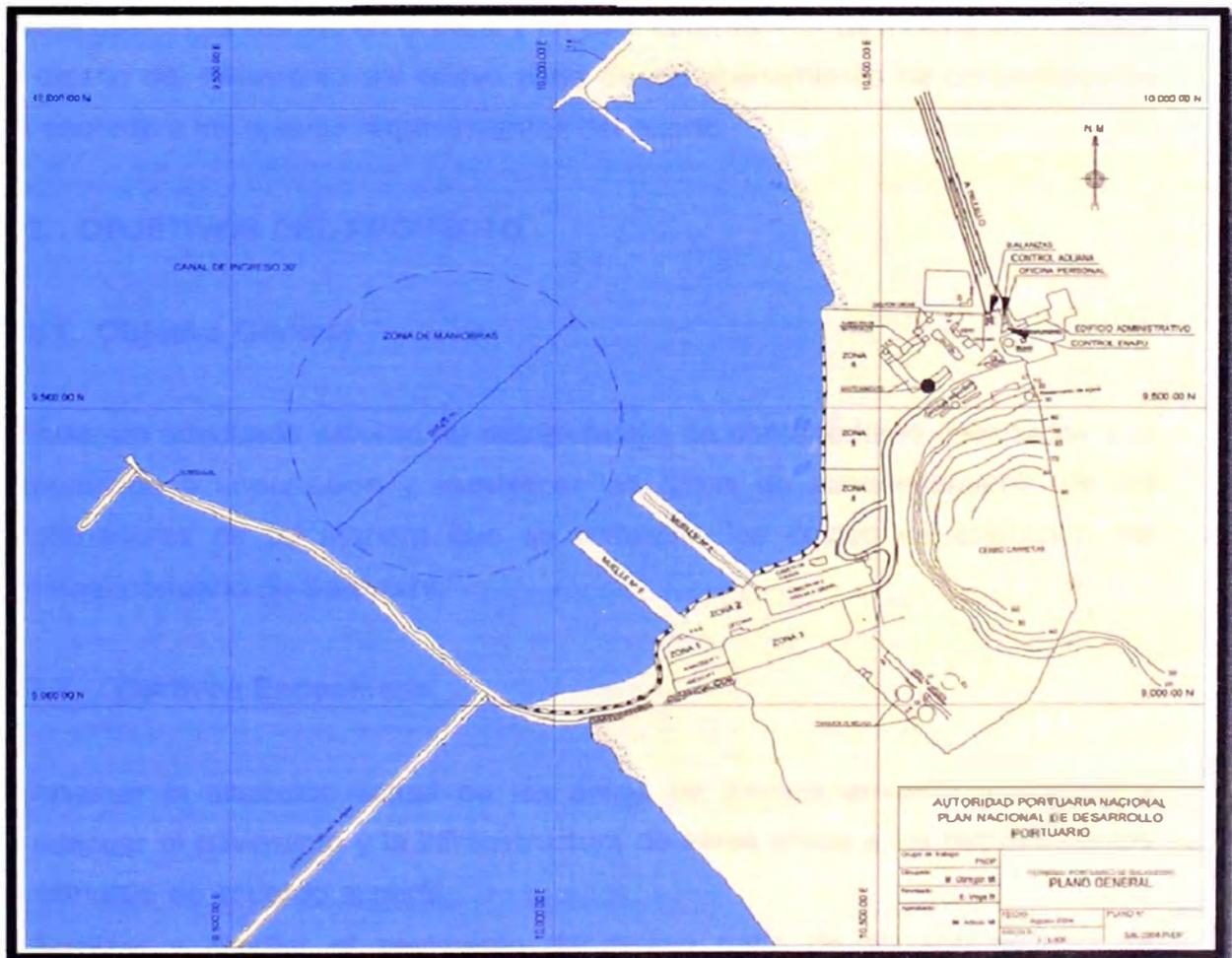
Fuente: ENAPU

Salaverry es un puerto que cuenta con una instalación de aproximadamente 18 hectáreas, cuenta con tres áreas cubiertas para el almacenamiento de carga

sensible a las condiciones climatológicas; estas áreas incluyen los almacenes N° 1 y 2 usados para el almacenamiento de carga general. Adicionalmente, cuenta con seis áreas descubiertas (17,576 m²) para el almacenamiento de la carga general, incluyendo el almacenamiento de contenedores. En la figura N° 1.02 se muestra la distribución actual en planta del terminal portuario de Salaverry.

El puerto manipula principalmente carga seca a granel (azúcar, arroz y otros), un volumen pequeño de carga líquida a granel (melaza y alcohol etílico) y, en menor proporción, maneja la carga y descarga de contenedores. Sin embargo, los volúmenes de carga procesada han crecido a una tasa relativamente constante en los últimos cinco años, mientras que el tráfico de contenedores ha decrecido.

Figura N° 1.02 Vista en planta del Puerto de Salaverry



Fuente: ENAPU

1.1.2. Planteamiento del problema

De acuerdo al planteamiento del perfil, se ha proyectado un crecimiento de flujo de contenedores anuales de 5% para un horizonte de 10 años (107,751 contenedores FEU al 2022) en el terminal portuario de Salaverry, lo que requiere un patio de contenedores cercano al muelle, que sea funcional y que cuente con la infraestructura y equipamiento adecuados, que cumplan con las especificaciones técnicas de los pavimentos portuarios.

El área requerida para el almacenamiento y manipuleo de los contenedores FEU proyectados es de 60,000 m² (pilas de 4 y 7 filas), de lo cual actualmente solo se cuenta con 17.576 m², correspondiente a las zonas 1 y 3. Asimismo, estas zonas existentes no se encuentran diseñadas para los nuevos requerimientos del proyecto, ni tampoco se cuenta con el equipamiento necesario para las nuevas necesidades planteadas en el perfil y en este informe. Por tal motivo, se realizará el diseño del pavimento del nuevo patio de almacenamiento de contenedores de acuerdo a los nuevos requerimientos del puerto.

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1. Objetivo General

Brindar un adecuado servicio de manipulación de contenedores destinados a la exportación e importación y establecer las áreas de almacenamiento de los contenedores de tal manera que se reduzcan los costos de operación del terminal portuario de Salaverry.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar la situación actual de las áreas de almacenamiento existentes y adecuar el pavimento y la infraestructura de estas áreas a los requerimientos actuales, de acuerdo al perfil.
- Analizar y diseñar el pavimento del nuevo patio de almacenamiento de contenedores, para lograr un almacenamiento inicial de 60000 contenedores (FEU) con un crecimiento de 5% anual y proyectado a un horizonte de 10 años

(107,751 contenedores al 2022), con el fin de almacenar contenedores llenos y contenedores vacíos.

- Elaborar el expediente técnico de la solución planteada para el diseño del pavimento del nuevo patio de contenedores.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.3.1. Nombre del Proyecto

El proyecto tiene por denominación “Embarque y Desembarque de contenedores en el Terminal Portuario de Salaverry – Diseño del Pavimento para el nuevo patio de Contenedores”. Este proyecto se encuentra ubicado en el Terminal Portuario de Salaverry, frente al Muelle N° 1. El patio a diseñar servirá para el almacenamiento de contenedores desembarcados a través de este muelle.

Figura N° 1.03 Vista panorámica del Puerto Salaverry



Fuente: Google Earth

1.3.2. Descripción Técnica del Proyecto

El proyecto consiste en implementar áreas de almacenamiento exclusivo para contenedores, en zonas cercanas al muelle. Este patio de contenedores se

construirá en función a la cantidad de contenedores que se ha proyectado en el perfil (107,751 FEUs al año 2022) y su diseño se realizará de acuerdo al equipamiento necesario para la manipulación de estos contenedores.

El puerto de Salaverry actualmente tiene seis áreas de almacenamiento destinadas para cargas generales, es decir el área para el almacenaje de contenedores no se encuentra especializada. En el siguiente cuadro se observa el detalle de las áreas actuales designadas al almacenamiento de carga general.

Cuadro N° 1.01 Área Total de Almacenaje disponible

Zonas de almacenamiento	AREA
Almacén 1	2,333 m ²
Almacén 2	2,145 m ²
Zona 1	2,172 m ²
Zona 2	750 m ²
Zona 3	10,176 m ²
Zona 4	1,188 m ²
Zona 5	6,000 m ²
Zona 6	19,782 m ²
TOTAL	17,576 m²

Fuente: Perfil del Embarque y Desembarque de Contenedores del Terminal Portuario de Salaverry

El proyecto consiste en el diseño de un patio de almacenamiento de contenedores para un movimiento de 107,751 FEUs anuales, proyectados a un horizonte de 10 años (año 2022). El cálculo del área de este patio se realizó en base a ábacos, teniendo en cuenta los parámetros del tiempo de estadía de contenedores en el patio, los equipos de manipuleo de los contenedores dentro del patio, así como la altura de apilamiento de los contenedores, tanto para contenedores llenos como para contenedores vacíos.

El pavimento será diseñado para la resistencia de las cargas dinámicas y estáticas dentro del patio de almacenamiento, considerando la carga de los equipos y de los contenedores y los efectos máximos producidos por los mismos.

1.3.3. Beneficios del Proyecto

Debido a la construcción del patio de contenedores, se reorganizará la distribución de la carga de contenedores de manera planificada, lo que permitirá obtener los siguientes beneficios:

- Disminución de costos de movimiento de contenedores durante el embarque y desembarque de la nave.
- Disminución de costos de mantenimiento de las zonas no adecuadas para almacenar contenedores.
- Disminución de tiempo de espera de las naves en el puerto (STAT).
- Adecuada distribución y ordenamiento de las áreas destinadas al almacenamiento de contenedores del puerto para su operación.
- Menor recorrido de equipos portacontenedores (muelle-almacén) por ende mayor dinamismo para el embarque y desembarque de los contenedores.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ASPECTOS GENERALES

Los puertos se han clasificado de dos diferentes formas, una se refiere al uso que se hace de él (comercial, industrial, militar, pesquero y deportivo) y la segunda, al tipo de actividad a que se realiza (operación o almacenamiento). Además, es necesario considerar las zonas complementarias y las vías que conectan los diferentes sectores.

Dentro de las zonas complementarias, se consideran los sectores urbanizados, tanto edificios como dependencias administrativas y además, los estacionamientos de vehículos pesados y ligeros.

2.2. USO DE LAS SUPERFICIES PORTUARIAS

En este ítem se incluye todas las actividades portuarias de intercambio entre los modos de transporte terrestre y marítimo, además de todo lo relacionado con manipulación y almacenamiento de elementos mientras el fin principal sea el comercio.

Las mercancías que principalmente se manipulan en nuestro país son:

- Acopios sólidos
- Mercancía general convencional
- Mercancía general pesada
- Contenedores

2.2.1. Zonas de Almacenamiento

Son sectores destinados a la permanencia durante días de mercancías o suministros, permitiendo el acopio de los mismos. La superficie está destinada al depósito, almacenamiento o circulación de equipos.

La clasificación de las zonas de almacenamiento se realiza tomando en cuenta los siguientes factores:

- Cubiertas o descubiertas, sólo las cubiertas pueden ser abiertas o cerradas
- Altura de apilamiento
- Tiempo de estancia de la mercancía
- Naturaleza de la mercancía (materiales)
- Forma de traslado de la mercancía

2.2.2. Almacenamiento de contenedores

Son zonas descubiertas donde se almacenan contenedores directamente sobre el pavimento o en forma apilada. Las alturas máximas más usuales se encuentran entre 3 y 5 unidades (7.5 a 12 m), en función del espacio disponible, el sistema de distribución y el equipo de manipulación empleado. La forma de almacenamiento en planta puede ser aislada, en fila simple o en bloque (fila múltiple), necesitándose en los dos primeros casos separaciones mínimas de 10 a 15 m, en función del tipo de contenedores y del sistema de manipulación empleado. En estas zonas se producen unas cargas concentradas de gran magnitud.

2.3. TIPOS DE CARGAS PARA PAVIMENTOS PORTUARIOS

Se diferencian tres tipos de cargas:

- Las que transmiten al pavimento los materiales o mercancías acopiadas o almacenados en una determinada superficie (cargas de estacionamiento o almacenamiento).
- Las que aplican los equipos que se emplean en la manipulación de dichos materiales o mercancías (cargas de manipulación).
- Las que corresponden a cargas de tráfico pesado convencional (vehículos de carreteras).

2.3.1. Cargas de almacenamiento

Son cargas de naturaleza variable, debidas fundamentalmente al peso de mercancías, almacenadas o apiladas directamente sobre la superficie o en el interior de elementos auxiliares para su transporte y manipulación

(contenedores, semirremolques, etc.), siendo su actuación y distribución constantes durante un cierto periodo de tiempo.

El valor de la carga se determina teniendo en cuenta el uso previsto para la superficie, la zona de la misma en que actúa y la forma en que solicita al pavimento, tomando en consideración los siguientes factores:

- Forma en que está presente la mercancía (mercancía general, acopios sólidos, contenedores, semirremolques, etc.).
- Forma y dimensiones de los acopios y apilamientos.
- Cantidad máxima que puede manipularse.
- Métodos y equipos de manipulación.

A los efectos del dimensionamiento de éstos, se consideran cargas repartidas las debidas al almacenamiento de acopios sólidos y, salvo algunos casos, de mercancía general; por el contrario, se consideran como concentradas las cargas aplicadas por contenedores y semirremolques, así como también las debidas a productos manufacturados apoyados sobre durmientes.

a) Almacenamiento de contenedores

Las cargas de los contenedores se transmiten al pavimento por elementos de apoyo de $0.178 \times 0.162 \text{ m}^2$ situados en las esquinas, los cuales sobresalen de su cara inferior 0.0125 m y son empleados para aislar del suelo la mercancía y facilitar su manipulación.

La unidad de medida en el transporte de los contenedores es el TEU (Transport Equivalent Unit) o contenedor equivalente de 6.1 m (20') de longitud. Los más habituales actualmente son los que tiene 6.1 m (1 TEU) y 12.2 m (40' 0 2 TEU). El TEU también se utiliza como unidad de medida del transporte de cajas móviles sobre semirremolques.

Las presiones de contacto sobre el pavimento dependen de la carga, de la forma de almacenar los contenedores (aislados, en fila simple o en fila múltiple o en bloque), de las alturas empleadas (generalmente, de uno a cinco contenedores

en altura, aunque puede sobrepasar esta última altura), de la flexibilidad o rigidez del propio pavimento y de que se produzcan o no puntos de descarga.

La probabilidad de que todos los contenedores estén totalmente cargados en altura es en principio relativamente pequeña y depende de los criterios específicos de explotación de la instalación. Por esta razón, para la estimación de las cargas aplicadas algunos autores (BPA) proponen la introducción de coeficientes reductores de peso según la altura de almacenamiento (hasta el 40% para apilamientos en más de 5 alturas). Sin embargo, hay sistemas de explotación en los cuales los contenedores se agrupan por su carga, con lo cual pueden darse apilamientos de cinco contenedores totalmente cargados.

b) Estacionamiento de semirremolques (roll – trailers)

Los distintos dispositivos que tienen los semirremolques para apoyarse en el suelo en su parte delantera cuando se encuentran desenganchados del tractor pueden producir importantes deterioros. Según dicho dispositivo los semirremolques se clasifican en tres tipos:

- Los provistos en su parte delantera de dos parejas de ruedas metálicas de 0.088 m de anchura y de 0.225 m de diámetro cada una de ellas con el semirremolque a plena carga (cargas de 140 KN en su parte delantera), pueden dar presiones de contacto de hasta 40 MPa, con una superficie de contacto teórica de $0.088 \times 0.010 \text{ m}^2$.
- Los que disponen para el apoyo delantero de dos placas metálicas de $0.225 \times 0.150 \text{ m}^2$, que producen una presión de contacto del orden de 2 MPa para una carga total de 140 KN en la parte delantera.
- Los que tienen un aparato de apoyo delantero consistente en una vigueta con una superficie de apoyo de $0.130 \times 2.145 \text{ m}^2$, que produce una presión de contacto sobre el pavimento de 0.5 MPa para cargas de 140 KN en la parte delantera.

2.3.2. Cargas de equipos de manipulación de contenedores

En el cuadro N° 01 del Anexo A se presenta un resumen de las características fundamentales de los distintos equipos de manipulación para los efectos de dimensionamiento de los pavimentos.

2.3.3. Cargas de tráfico pesado convencional

El semirremolque, como elemento aislado, no podrá sobrepasar los 12.5 metros, y el remolque no podrá sobrepasar los 11 m.

- En el caso del camión más remolque, uno o más remolques, cualquiera sea la distancia entre ejes extremos, debe tener como máximo un peso bruto total del conjunto de 45 tn.

2.3.4. Cantidad máxima y óptima de contenedores apilados

Las alturas de almacenamiento de contenedores están acotadas por las capacidades de las maquinarias de manipulación de éstos. De esta forma, será importante conocer el tipo de maquinaria que se utilizará en el puerto, puesto que, por ejemplo, algunos modelos de grúas móviles llegan a apilar hasta 6 contenedores cargados y 8 descargados (por ejemplo, grúas Kalmar modelos DRD420-65S6 y DRD100, respectivamente), valores relativamente altos. Por estas razones, no es factible hablar de cantidad óptima de contenedores, puesto que la altura de apilamiento suele estar regida por la cantidad de la maquinaria y la necesidad de espacio del puerto, sino que solamente de cantidad máxima de contenedores apilados.

Como es improbable que todos los contenedores en un apilamiento estén completamente cargados, los pesos brutos máximos se pueden disminuir según el factor de reducción mostrado en el Cuadro N° 04 del Anexo A.

2.3.5. Efectos de frenado y aceleración

Los efectos de carga dinámica se toman a través de un factor f_d que considera operaciones en esquinas o viraje, aceleración, frenado y superficies irregulares. Cuando una sección de pavimento está sujeta a estos efectos, las cargas por ruedas se multiplican por los factores dados en el Cuadro N° 05 del Anexo A y los productos se agregan a la carga estática.

Cuando se producen 2 ó 3 de estas condiciones en forma simultánea, el factor f_d debe ser la suma de ellas. Por ejemplo, para un cargador frontal bajo condiciones de operación en esquina y aceleración sobre superficie irregular el factor f_d sería $40 + 10 + 20 = 70\%$, por lo tanto la carga estática se incrementaría por un 70%. En el caso de frenado, el factor dinámico para ruedas delanteras y sustractivo para ruedas traseras. En el caso de equipos con ruedas en el centro, (por ejemplo, tractor y remolque), los factores dinámicos de frenado y aceleración son aplicados cerca de las ruedas centrales y se reducen dependiendo de la geometría.

2.4. MÉTODOS DE DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS PORTUARIOS

El dimensionamiento de un pavimento se puede abordar según dos caminos diferentes:

- Considerando los factores básicos de dimensionamiento (tráfico, explanada, características de los materiales y variables climáticas) de manera explícita, con el objetivo, como en el cálculo tradicional de estructuras, de determinar tensiones, deformaciones y desplazamientos, comparando estos resultados con los valores admisibles. Este enfoque es el de los métodos analíticos de dimensionamiento.
- Implícitamente, considerando todos estos factores globalmente en un proceso basado fundamentalmente en la experiencia sobre el comportamiento de los pavimentos. Así es como se hace en los métodos empíricos de dimensionamiento.

Los métodos analíticos de dimensionamiento se basan en el estudio del estado de tensiones y deformaciones producido por las solicitaciones que se tengan en cuenta (cargas, temperaturas, etc.) con posteriores consideraciones sobre lo que significa dicho estado en el deterioro de la sección estructural. Un método analítico, consta por tanto, de dos componentes: un modelo de respuesta y un análisis de deterioro.

Los modelos de respuesta se pueden clasificar en tres grandes familias: modelos mecánicos, de regresión y probabilísticos, siendo los primeros los de empleo más generalizado. Existen tres tipos de modelos mecánicos según los principios de modelación geométrica y de cálculo en los que se basan: sistemas multicapa, teoría de placas y métodos numéricos (elementos finitos, por ejemplo). Por otro lado, pueden clasificarse según las ecuaciones constitutivas de los materiales: modelos elásticos y visco elásticos. Hasta el momento, se ha alcanzado mayor desarrollo para pavimentos flexibles y semirrígidos en los modelos basados en sistemas multicapa y ecuaciones elásticas (hipótesis de Burmister); en cambio, para los pavimentos rígidos los métodos más usuales se basan en la teoría de placas y las ecuaciones elásticas (hipótesis de Westergaard).

2.4.1. Hipótesis de Burmister

En resumen estas hipótesis son las siguientes:

- El pavimento se representa geoméricamente como una estructura constituida por una serie de capas horizontales paralelas, indefinidas en planta y de espesor constante, apoyadas en un espacio semi indefinido de Boussinesq.
- Cada capa se comporta como un medio elástico lineal, homogéneo, isótropo y continuo. Se caracteriza mecánicamente por su módulo de elasticidad y su coeficiente de Poisson.
- Cada una de las cargas que actúa sobre el pavimento, por ejemplo las ruedas de un vehículo, se representa mediante una presión, en general vertical, distribuida uniformemente sobre un área circular.
- Cada capa se apoya sobre la subyacente de forma continua. El contacto entre capas puede modelarse en condiciones de adherencia total (igualdad de deformaciones horizontales) o nula.

- Se desprecian las fuerzas de inercia y los efectos térmicos.
- Las deformaciones que se producen en el sistema son pequeñas.
- No se suelen considerar los esfuerzos cortantes que se producen en las zonas de contacto entre las cargas y la superficie del pavimento, debido a que, salvo en casos excepcionales, son prácticamente despreciables.

Con estas hipótesis, las ecuaciones en derivadas parciales que resultan del planteamiento del problema se resuelven mediante transformadas. La respuesta de la estructura se obtiene entonces en forma de integrales definidas que se resuelven numéricamente. Para ello se utilizan los correspondientes programas de computador, de los que existen muchas versiones en el mercado.

Las limitaciones de los modelos desarrollados bajo estas hipótesis tienen su origen en las mismas y puede resumirse de la siguiente forma:

- La sección del pavimento se representa con simetría de revolución, es decir, tanto las cargas como el propio pavimento se suponen simétricos alrededor de un eje. Los efectos de las cargas producidas por los neumáticos en las proximidades de grietas o de bordes no pueden por tanto analizarse utilizando estos métodos; tampoco puede analizarse directamente el efecto de cargas cuya huella de contacto no es circular, como ocurre con los contenedores o los apoyos delanteros de los semirremolques. Aunque podrán utilizarse modelos tridimensionales, aplicando un método de elementos finitos, estos no son prácticos debido a la gran cantidad de tiempo de computador y de planteamiento y análisis de los resultados que requieren.
- Se desprecian las fuerzas de inercia que se desarrollan en cada elemento del pavimento debidas a las cargas dinámicas y los efectos visco elásticos inducidos por cargas de tráfico. El no considerar éstos últimos, puede no ser aceptable en el caso de vehículos circulando a baja velocidad y materiales granulares o mezclas bituminosas y en el de vehículos que en sus movimientos realizan giros muy bruscos.
- Todos los materiales utilizados en construcción de pavimentos son en mayor o menor medida anisotrópicos, heterogéneos, no lineales y no elásticos; algunas de sus propiedades dependen del tiempo y se ven afectadas por cambios ambientales, como la temperatura o la humedad. Por tanto, para calcular tensiones y deformaciones de forma más precisa sería necesario el empleo de

teorías complejas no lineales. La aplicación de la teoría elástica ha demostrado ser, de todos modos, suficientemente válida en la práctica.

2.4.2. Hipótesis de Westergaard

Estas hipótesis, aplicables a los pavimentos de concreto, se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Se supone que la losa es de espesor uniforme y que se comporta como un medio elástico lineal homogéneo, isótropo y continuo, caracterizado mecánicamente por su módulo de elasticidad y su coeficiente de Poisson.
- La losa está en equilibrio bajo la acción de las cargas del tráfico, su peso propio, las reacciones de las losas contiguas y la de apoyo.
- La reacción del apoyo se considera, en cada punto, proporcional al desplazamiento vertical del mismo (macizo de Winkler) con un constante de proporcionalidad denominada módulo de reacción o de balasto.

Tanto en las fórmulas establecidas por Westergaard como en las modificaciones posteriores de las mismas, un parámetro fundamental es el denominado radio de rigidez relativa, el cual viene dado por la siguiente expresión:

$$l = \left(\frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot K} \right)^{1/4}$$

Siendo:

l: radio de rigidez relativa (m).

E: módulo de elasticidad del hormigón (MPa).

h: espesor de la losa (m).

ν : coeficiente de Poisson del hormigón.

K: módulo de reacción del apoyo (MPa/m).

En el caso de una carga circular, las tensiones máximas en la losa para las distintas posiciones de aquella vienen dadas por expresiones del tipo siguiente:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{Q}{h^2} \cdot f\left(\frac{l}{a}\right)$$

Siendo:

Q: magnitud de la carga circular (N).

a: radio de la carga (m).

2.4.3. Factores de dimensionamiento

Al momento de diseñar, se debe considerar el pavimento, equipos y partes interrelacionadas de un mismo sistema de explotación.

La selección del sistema completo incluye los siguientes aspectos que deberán ser tenidos en cuenta por el proyectista:

- Equipos de manipulación que se quieren utilizar.
- Características generales de estos equipos.
- Cargas transmitidas por cada equipo en las condiciones de trabajo.
- Uso de cada uno de ellos durante la vida del proyecto.
- Posibles tipos de secciones estructurales.
- Adaptación del pavimento a las condiciones de trabajo.
- Características superficiales exigibles.
- Inversiones previstas.

Así también, el proyectista debe conocer los usos de la superficie para la cual se va a proyectar el pavimento, ya que según sean los requeridos, se utilizarán unos equipos de manipulación u otros y una forma de explotación específica.

2.4.4. Método Empírico de la BPA

a) Factores de dimensionamiento

i. Cargas estáticas

La distribución de cargas de contenedores, por ejemplo, al ser transportados por distintas maquinarias puede ser determinada según la distribución de cargas en equipos de manipulación.

ii. Apoyo de contenedores

Los contenedores son apilados en hileras o bloques, generalmente en un máximo de 5. El contenedor posee en su base unas placas que van en las esquinas y que sirven de apoyo, éstas tienen las dimensiones: de superficie $178 \times 162 \text{ mm}^2$ y altura 12.5 mm las que se proyectan debajo de fondo del contenedor.

Como es poco probable que todos los contenedores en un apilamiento estén completamente cargados, los pesos brutos máximos se afectan por un factor de reducción mostrado en el cuadro N° 04 del Anexo A, cantidad máxima y óptima de contenedores apilados.

iii. Factores de proximidad de las ruedas

La limitante activa en el diseño es la deformación por tracción horizontal en la fibra inferior de la base en el pavimento asfáltico y de adoquines de concreto; y en la fibra inferior de la losa en el caso de pavimentos de concreto. Si se considera solamente una rueda, la máxima deformación horizontal ocurre bajo el centro de la rueda y se reduce con la distancia desde ella. Si hay dos ruedas lo suficientemente juntas, la deformación bajo cada una de ellas se ve aumentada por una cierta cantidad debido al efecto de la otra.

Las cargas por rueda se modifican multiplicándolas por un factor de proximidad apropiado dado la Cuadro N° 06 del Anexo A. Estos factores son obtenidos como se señala a continuación:

- Si la rueda próxima no fuera considerada, las tensiones relevantes serían la tensión de la tracción radial directamente debajo de la carga de la rueda.
- Si hay una segunda rueda cerca, ésta genera tensiones tangenciales directamente debajo de la primera rueda. Esta tensión tangencial es sumada a la tensión radial contribuida a la primera rueda. El factor de proximidad es la relación entre la suma de estas tensiones y las tensiones de tracción resultantes de la primera rueda.
- Las ecuaciones siguientes son para calcular la tensión:

$$\sigma_R = \frac{W}{2\pi} \times \left[\frac{3r^2z}{\alpha^{5/2}} - \frac{1-2\nu}{\alpha + z \times \alpha^{1/2}} \right]$$

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

Donde:

σ_R = tensión radial

σ_T = tensión tangencial

W = carga

r = distancia horizontal entre ruedas

z = profundidad de la posición de tensiones a calcular

ν = coeficiente de Poisson

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

Cuando más de dos ruedas están próximas, la tensión radial debajo de la rueda crítica puede ser incrementada tomando en cuenta la contribución de 2 ó más tensiones tangenciales. El cuadro N° 06 del Anexo A muestra el factor de proximidad del espaciamiento de la rueda y de la Profundidad Efectiva del fondo de la base del pavimento. La Profundidad Efectiva puede ser calculada de la siguiente fórmula y representa la profundidad desde la superficie del pavimento hasta el tope de la base.

$$\text{Profundidad Efectiva} = 300 \times \sqrt[3]{\frac{35000}{\text{CBR} \times 10}}$$

Donde CBR = California Bearing Ratio de la subbase

iv. Cargas dinámicas

El factor dinámico (f_d) se obtiene del cuadro N° 05 del Anexo A; este factor es aplicado a las cargas estáticas de los equipos para determinar los efectos de frenado y aceleración sobre el pavimento.

v. Deterioro por carga de rueda

El valor del diseño de la carga de rueda depende del rango de peso de contenedores que está siendo manipulado. Este diseño se basa en la Carga Crítica la cual es definida como el valor de carga y el número de repeticiones que rige el daño del pavimento.

El cálculo del deterioro causado por contenedores se efectúa a través de la siguiente ecuación:

$$D = \left(\frac{W}{12000} \right)^{3.75} \times \left(\frac{P}{0.8} \right)^{1.25} \times N$$

Donde:

D = efecto del deterioro, PAWL

W = carga de rueda correspondiente con peso específico de contenedor (Kg)

P = presión del neumático (MPa)

N = % del cuadro N° 16 del Manual de la BPA [7]

vi. Características de los materiales

El método de diseño de la BPA considera en forma genérica dos tipos de clasificación de capas. El primer tipo corresponde a un pavimento asfáltico o adoquines de concreto que considera la distribución ascendente siguiente: sub rasante, coronación, sub base, base y carpeta de asfalto o adoquines de concreto. El segundo tipo es el pavimento rígido considerando: sub rasante, coronación, sub base y base, siendo la base en este caso la losa de hormigón.

La posibilidad de elegir unos u otros materiales, atendiendo tanto a su disponibilidad como a su costo, conduce en última instancia a la solución estructural del proyecto.

Para la creación de los ábacos de diseño se supusieron las propiedades de los materiales dadas en el cuadro N° 02 del Anexo A.

Respecto de los materiales considerados en los ábacos de diseño se tienen las siguientes consideraciones:

- **Asfalto**

El diseño de la superficie de asfalto se omite, ya que éste depende de la carga superficial y de la durabilidad requerida. Se considera solamente un caso, en el que el espesor de la capa es 100 mm y un módulo de elasticidad de 4.000 N/mm². El módulo de Poisson es 0.3.

- **Adoquines o bloques de concreto**

Los adoquines de concreto son de 80 mm de espesor y se colocan sobre una capa de arena de 30 mm. El módulo de elasticidad es de 4000 N/mm² y el módulo de Poisson es 0,2.

- **Concreto**

El concreto tiene una resistencia a la compresión de 40 N/mm². El espesor de la carpeta es elegido por el diseñador y se considera un módulo de 30.000 N/mm² y un valor de 0,2 para el módulo de Poisson. Para el hormigón prefabricado se supone una calidad similar a la del hormigón.

- **Grado del concreto y materiales constituyentes para bases de pavimento**

El concreto en pavimentos rígidos, compuesto o por bloques, deberá ser especificado de acuerdo al grado y material, según lo mostrado en el cuadro N° 08 del Anexo A. Los factores de conversión indicados en este cuadro se refieren al diseño mediante el método establecido por la British Ports Association (BPA).

vii. Tablas de diseños y ábacos

El espesor de la sub base y el espesor de capa de nivelación para diferentes CBR de sub rasante se realizan mediante el uso del cuadro N° 07 del Anexo A. Asimismo, de los ábacos mostrados en las figuras N° 03 y 04 del Anexo A, se determina el espesor de la base del pavimento para un material estándar de concreto C_{8/10}, para el diseño de pavimentos con contenedores apilados o para el diseño por cargas de los equipos de manipuleo.

2.5. MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE PAVIMENTOS

En este capítulo se describen los tipos más comunes de defectos y fallas, sus causas probables y las sugerencias de reparación.

Un nivel excesivo de deterioro en un sistema de pavimento se evidencia en la presencia de grietas, degradación superficial y depresiones, que afectan la estabilidad estructural y la calidad del rodado, provocando operaciones riesgosas. Para aliviar los efectos del deterioro y mejorar las operaciones sobre el pavimento, se debe recurrir a una mantención oportuna y efectiva.

En todos los casos de deterioros, el primer paso de rehabilitación consiste en determinar las causas de la falla. Posteriormente, un procedimiento conveniente de reparación es adoptar las medidas de mantenimiento. La conservación constante permite reducir el deterioro a un nivel mínimo.

2.5.1. Daños en estructuras de pavimento rígido

a) Fisura transversal y diagonal

Es el fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente perpendicular al eje del pavimento, o en forma oblicua a este, dividiendo la misma en dos planos. Este tipo de fisuras son causadas por una combinación de excesivas repeticiones de cargas pesadas (fatiga), deficiente apoyo de las losas, asentamientos de la fundación, excesiva relación longitud/ancho de la losa o deficiencias en la ejecución de éstas. La ausencia de juntas transversales o bien losas con una relación longitud/ancho excesivos, conducen a fisuras transversales o diagonales, regularmente distribuidas o próximas al centro de las losas, respectivamente. Asimismo, las variaciones significativas en el espesor de las losas provocan también fisuras transversales.

b) Fisura longitudinal

Es el fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente paralela al eje de la vía de tránsito de los equipos, dividiendo la misma en dos planos. Son fisuras

causadas por la repetición de cargas pesadas, pérdida de soporte de la fundación, gradientes de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad, o por las deficiencias en la ejecución de éstas y/o sus juntas longitudinales. Con frecuencia la ausencia de juntas longitudinales y/o losas, con relación ancho/longitud excesiva, conducen también al desarrollo de fisuras longitudinales.

c) Fisura de esquina

Es una fisura que interseca la junta o borde que delimita la losa a una distancia menor de 1.30 m a cada lado medida desde la esquina. Las fisuras de esquina se extienden verticalmente a través de todo el espesor de la losa. Estas fisuras son causadas por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto) combinadas con la acción drenante, que debilita y erosiona el apoyo de la fundación, así como también por una deficiente transferencia de cargas a través de la junta, que favorece el que se produzcan altas deflexiones de esquina.

d) Losas subdivididas

Es el fracturamiento de la losa de concreto conformando una malla amplia, combinando fisuras longitudinales, transversales y/o diagonales, subdividiendo la losa en cuatro o más planos. Son fracturas originadas por la fatiga del concreto, provocadas por la repetición de elevadas cargas de tránsito y/o deficiente soporte de la fundación, que se traducen en una capacidad de soporte deficiente de la losa.

2.5.2. Técnicas para la conservación de pavimentos rígidos

Se entenderá por conservación de pavimentos rígidos el conjunto de acciones que se llevan a cabo para que un pavimento, construido con anterioridad con losas de concreto hidráulico, continúe en condiciones adecuadas de operación, ofreciendo comodidad y seguridad al usuario.

La pérdida de soporte en pavimentos de concreto hidráulico es una de las causas principales del deterioro (bombeo, agrietamiento y hundimiento de losas).

Si se ha hecho un bombeo significativo y el soporte de la losa no se ha restaurado se observarán deflexiones altas, especialmente en zonas de gran aforo vehicular, y la tasa de deterioro se acelerará.

El término "Estabilización de Losas", se define como la inyección bajo presión de un material debajo de la losa y/o en la sub-base para llenar los huecos y proveer una capa delgada que reducirá las deflexiones y resistirá la acción de bombeo. El propósito de la estabilización de losas es restaurar el soporte de la losa rellenando con material los huecos existentes en la base sin levantarla. El término "Nivelación de Losas", se refiere al levantamiento de una losa en los puntos de depresión restaurándola a su posición y perfil original. El propósito es nivelar una depresión y restaurar la integridad del pavimento, sin reconstruirlo, mejorando notablemente su nivel de servicio al mínimo costo.

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL PAVIMENTO DEL PATIO DE CONTENEDORES

3.1. DIMENSIONAMIENTO DEL PAVIMENTO PORTUARIO

3.1.1. Criterios de Diseño del Pavimento

a) General

Para describir las operaciones principales del terminal portuario se pueden identificar las siguientes zonas de pavimento:

- Áreas de apilamiento de contenedores
- Zonas de tránsito de reachstackers para el manipuleo de contenedores llenos
- Zonas de tránsito de fork lifts para el manipuleo de contenedores vacíos
- Zonas de tránsito para circulación perimétrica de terminal trucks (transporte de contenedores)
- Áreas de reunión de camiones

Para cada una de estas descripciones es posible identificar una carga aplicada y una cantidad de tránsito de ejes. A partir de dicha información, se puede proyectar un diseño de pavimento necesario para cada caso y obtener combinaciones distintas del pavimento para las diferentes zonas del patio de almacenamiento.

Algunos pavimentos son utilizados para el tránsito de equipos pesados y otros pavimentos han sido considerados netamente para el almacenamiento de contenedores llenos y vacíos. Para fines prácticos de diseño, se analizarán los diferentes casos de cargas estáticas y dinámicas y se determinarán los posibles diseños del pavimento para cada caso; de estos diseños se escogerá el caso más crítico, de tal forma que se obtenga un pavimento de mayor confiabilidad.

b) Capas del pavimento para el patio de almacenamiento

De acuerdo con el manual de la British Ports Association (BPA), las secciones de pavimento en los puertos tienen cinco capas básicas:

- Capa superior o carpeta de rodadura
- Capa base
- Sub-base
- Capa de rodadura
- Subsuelo o sub rasante

Existen varias opciones disponibles para la carpeta de rodadura. Normalmente, dicha capa se constituye de una capa de asfalto, bloques de concreto o losas de concreto. La resistencia y rigidez de las siguientes capas (base, sub base y sub rasante) varían para poder responder a las tensiones y la fatiga. El grosor y resistencia exigidos se determinan por las cargas superiores que actúan sobre el pavimento y el material del subsuelo, cuya selección se rige por los requerimientos del patio de almacenamiento y de licuefacción durante un sismo. La carpeta de rodadura se hará de bloques de concreto debido a su durabilidad y resistencia al desgaste.

c) Normas de diseño

El pavimento será diseñado según el Manual establecido por la British Ports Association (Asociación Británica de Puertos - BPA). Para este diseño se utilizó la Edición N° 4, publicada en el año 2007, denominado "The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries" ("Manual de Diseño Estructural para Pavimentos de Alto Tránsito en Puertos y Zonas Industriales").

d) Tiempo de vida útil de diseño

La duración estimada del pavimento del patio de almacenamiento es de veinte años. A menudo se utiliza una duración estimada de veinte años para diseñar los pavimentos de terminales de contenedores ya que tiende a ser igual a la duración del equipo que opera sobre dicho pavimento. También es probable que en veinte años el equipo inicial sea anticuado y se introduzcan máquinas más rápidas y modernas.

Si bien se puede diseñar el pavimento para una duración específica, ello no quiere decir que la superficie no requerirá mantenimiento o reposición durante

ese tiempo. El pavimento de bloques de concreto puede alcanzar una duración estimada de veinte años; sin embargo, aparecerá un desgaste superficial localizado cuando los contenedores sean apilados en bloque debido a que los esquineros de metal imparten grandes tensiones de contacto.

e) Equipos de manipulación de contenedores

i. Equipo para manipuleo de contenedores dentro del patio de almacenamiento

Para el manipuleo de los contenedores llenos y vacíos, así como el transporte de los mismos del patio de almacenamiento hacia el muelle y viceversa se ha considerado el uso de los equipos mostrados en el Cuadro 3.01 y 3.02, respectivamente.

Cuadro N° 3.01 Datos técnicos de los equipos de manipuleo de contenedores

Descripción	Contenedores Llenos	Contenedores Vacíos
Equipo	Reach Stacker	Fork Lift - Empty Container Handlers
Modelo	DRD450-80S4XS	DCE80-45 E8
Filas de apilamiento horizontal	1-2-3	1
Altura de apilamiento (filas - FEU de 8.5' de alto)	5-4-3	8
Capacidad de Carga (Tn)	45.0 - 45.0 - 45.0	8.0
Distancia entre ejes delantero y posterior (m)	8.00	4.55
Ancho de equipo (m)	4.50	4.00
Longitud de equipo (m)	14.20	6.90
Peso de equipo (Tn)	103.00	37.00
Radio de giro externo (m)	11.25	6.00
Ruedas (pulg.)	21.00 x 35 / 36	12.00 x 24 / PR20E3
Número de ruedas delantero y posterior	4 - 2	4 - 2
Pasillo mínimo entre bloques (contenedores de 40')	18.00 m	14.00 m
Ancho de eje delantero (m)	3.38	3.27
Ancho de eje posterior (m)	2.26	2.25
Contenedores apilados por bloque	12.00	7.00
Presión de las ruedas (Mpa)	---	1.00

Fuente: Elaboración propia

Kalmar - Technical Information Empty Container Handler

Kalmar - Technical Information Container Handler

Cuadro N° 3.02 Datos técnicos de los equipos de transporte de contenedores

Descripción	Container Trailer o Terminal Truck	
	Chassis Truck	Container Chassis
Equipo	Ottawa 6x4	40' Gooseneck Chassis
Modelo	Ottawa 6x4	40' Gooseneck Chassis
Longitud de equipo (m)	6.21	12.34
Ancho de equipo (m)	2.41	2.44
Capacidad de Carga (Tn)	---	45.0
Distancia entre ejes delantero y posterior (m)	3.71	1.82 - 1.24
Peso de equipo (Tn)	36.30	8.00
Carga en eje delantero (Tn)	5.44	---
Carga en eje trasero (Tn)	18.14	30.62
Radio de giro externo (m)	6.10	8.30
Ruedas (pulg.)	11.00 x 22.5	10.00 x 20
Número de ruedas delantero y posterior	2 - 4	4 - 4 - 4
Quinta rueda	FW 3500	---
Ancho de eje delantero (m)	2.13	1.02
Ancho de eje posterior (m)	1.80	1.02 - 1.02

Fuente: *Elaboración propia*

Catálogo Kalmar –Standar Specifications Ottawa 6x4

Catálogo Gooseneck –Especificaciones 40' Gooseneck Chassis

3.1.2. Procedimiento de Dimensionamiento del Pavimento

a) Resumen del método de la British Ports Association – BPA (Asociación Británica de Puertos)

Este resumen considera todos los equipos de manipuleo y transporte de contenedores y los efectos que cada uno de ellos producen sobre el pavimento:

1. Selección del tipo de equipo
2. Datos del equipo
 - Peso no cargado
 - Peso del contenedor crítico
 - Ancho transversal de los ejes delanteros y traseros
 - Espaciamiento de ruedas
 - Número estimado de pasadas durante vida útil del pavimento

3. CBR de la sub rasante (para el caso de la arena de playa, CBR = 10%)
4. Verificación de espesores de sub base para diferentes tipos de sub rasante a través del cuadro N° 07 del anexo A
5. Variables del equipo
 - Número total de ruedas (N)
 - Carga de cada rueda en situación sin contenedor (peso no cargado/N)
 - Fórmula de f_d (Cuadro N° 05 del Anexo A)
 - Cálculo de la carga de rueda estática (peso crítico de contenedor/N + peso no cargado/N)
6. Cálculo de profundidad efectiva
7. Factor de proximidad de rueda en base al cuadro N° 06 del Anexo A
8. Carga efectiva estática de rueda (carga de rueda estática x factor de proximidad)
9. Tomar consideraciones generales de carga por rueda, utilizando f_d
10. Calcular los efectos de deterioro por rueda
11. Número final de pasadas (número estimado de pasadas x sumatoria de efectos por rueda)
12. Con la carga equivalente simple, el número final de pasadas y el tipo de material a utilizar, se obtiene el espesor de la base del pavimento, para un concreto del tipo $C_{8/10}$
13. Transformar el espesor del concreto del tipo $C_{8/10}$ en el espesor del material que se va a utilizar a través del Cuadro N° 08 del Anexo A

3.1.3. Dimensionamiento del Área del Patio de Almacenamiento

El dimensionamiento del área del patio de almacenamiento de los contenedores se realizará en base a los requerimientos del Perfil de Embarque y desembarque de contenedores del Terminal Portuario de Salaverry. De acuerdo al perfil, el diseño del patio de contenedores se realizará para atender una demanda inicial al 2010 de 60,000 contenedores de 40 pies, con una tasa de crecimiento de 5%. Por lo tanto, de acuerdo al cuadro N° 3.03:

- a) Demanda de contenedores FEUs (2 TEUs):
- Horizonte = 10 años
 - Tasa de crecimiento = 5%

Cuadro N° 3.03 Demanda de Contenedores al año 2022

Año	Llenos (und)	Vacíos (und)	Acción
2010	35,000	25,000	Perfil
2011	36,750	26,250	Proy. y Construc.
2012	38,588	27,563	Construc.
2013	40,517	28,941	Operación
2014	42,543	30,388	Operación
2015	44,670	31,907	Operación
2016	46,903	33,502	Operación
2017	49,249	35,178	Operación
2018	51,711	36,936	Operación
2019	54,296	38,783	Operación
2020	57,011	40,722	Operación
2021	59,862	42,758	Operación
2022	62,855	44,896	Operación
Total de FEUs	107,751 und		

Fuente: Perfil del Embarque y Desembarque de Contenedores del Terminal Portuario de Salaverry

Con la demanda total de contenedores al año 2022 y las dimensiones de los contenedores de 40 pies del cuadro N° 3.04, se ingresa al primer cuadrante del ábaco de la figura N° 01 del Anexo B.1 para calcular el área requerida de almacenamiento.

Cuadro N° 3.04 Dimensiones de Contenedores de 40 pies (FEU = 2 TEUS)

Descripción	Dimensiones
Alto	8.5'
Ancho	8.0'
Largo	40.0'
Área	29.73 m ²

Fuente: Perfil del Embarque y Desembarque de Contenedores del Terminal Portuario de Salaverry

De acuerdo a los equipos a ser utilizados para el manipuleo de los contenedores llenos y vacíos, y en función de la altura de apilamiento de los contenedores para cada caso, se determina el área requerida por cada contenedor de 40 pies, del Cuadro N° 03 del Anexo A.

Cuadro N° 3.05 Parámetros de dimensionamiento para el área del patio de contenedores

Descripción	Contenedores Llenos	Contenedores Vacíos
Cantidad de contenedores al año 2022	62,855 und	44,896 und
Peso máximo cargado (inc. peso propio)	48.0 tn	4.8 tn
Equipo seleccionado para manipuleo	Reach stacker	Fork lift
Altura máxima de apilado	4 filas	7 filas
Área requerida por contenedor FEU	7.50 m ² /FEU	11.50 m ² /FEU
Periodo de estadía en el terminal	10 días	5 días
Porcentaje de operatividad	100%	100%
Razón entre altura media y altura máxima	0.5	0.57
Factor de seguridad	25%	25%

Fuente: Elaboración propia

Con los parámetros de dimensionamiento establecidos en el cuadro N° 3.05 se ingresa a los ábacos de las Figuras N° 01 y 02 del anexo B.1 para determinar el área del patio de almacenamiento de contenedores llenos y vacíos, respectivamente. De estos ábacos se obtienen las áreas de almacenamiento indicadas en el cuadro N° 3.06, así como la capacidad contenedores que puede almacenar el patio a diseñar.

Cuadro N° 3.06 Área requerida para el patio de almacenamiento de contenedores

Descripción	Contenedores Llenos	Contenedores Vacíos	Total
Área del patio de contenedores	35,000 m ²	25,000 m ²	60,000 m ²
Capacidad de almacenamiento del patio	1700 FEU	600 FEU	2300 FEU

Fuente: Elaboración propia

Con el área de almacenamiento calculada y las especificaciones técnicas de los equipos de manipuleo escogidos (Anexo C), se determina el número de equipos necesarios para los contenedores llenos y vacíos, respectivamente. En el plano de distribución del patio de contenedores de la figura N° 07 del Anexo D se muestra la distribución en planta de los contenedores llanos y vacíos, respectivamente.

Del este plano de distribución en planta, se extraen los datos mostrados en el cuadro N° 3.07.

Cuadro N° 3.07 Datos técnicos de los equipos de manipuleo de contenedores

Descripción	Contenedores Llenos	Contenedores Vacíos
Equipo	Reach Stacker	Fork Lift - Empty Container Handlers
Número de bloques de FEUs por equipo	25	19
Número de contenedores por bloque (und)	3 x 4 = 12	3 x 7 = 21
Número de contenedores por equipo (und)	300	399
Capacidad de almacenamiento del patio (und)	1700	600
Número de equipos necesarios (und)	6	2

Fuente: Elaboración propia

Una vez determinada el área total requerida para el almacenamiento de los contenedores (107,751 FEUs al año 2022), se debe realizar un análisis estructural del pavimento que se va a diseñar. Para ello, se deberán calcular las cargas estáticas y dinámicas que actuarán sobre el pavimento del patio de almacenamiento, y el efecto que éstas ocasionarán sobre dicho pavimento.

3.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO

3.2.1. Cálculo de Cargas Estáticas

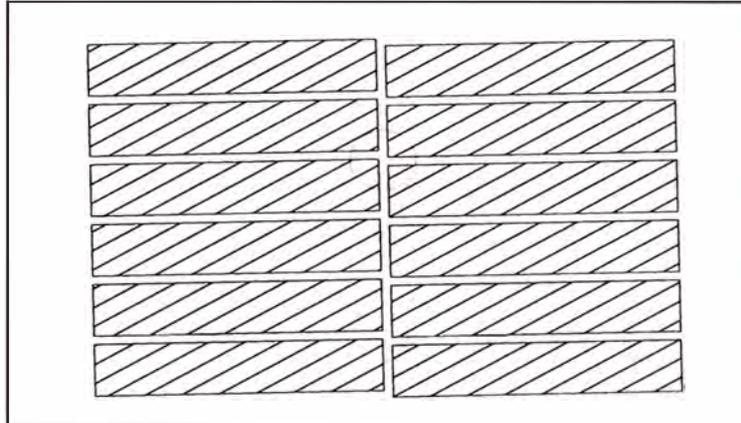
Para realizar el análisis estructural del pavimento que se va a diseñar para el patio de almacenamiento de contenedores, se consideran los efectos de las cargas estáticas generadas por el peso propio de los contenedores, los cuales van a ser almacenados en bloques.

a) Carga por almacenamiento de contenedores de 40 pies:

- Dimensiones de contenedor de 40' = 12.20 x 2.44 x 2.60 m
- Arreglo de bloque = 6 contenedores x nivel (Fig. 3.xx)
- Niveles de apilamiento = 7 filas (contenedores vacíos)
4 filas (contenedores llenos)

- Cargas máxima = 4.8 tn (contenedores vacíos)
48.0 tn (contenedores llenos)

Figura N° 3.01 Arreglo de bloque de contenedores



Fuente: Elaboración propia

Entonces, para efectos de diseño se considerarán los efectos provocados por las mayores cargas de almacenamiento, las cuales se generan cuando los contenedores se encuentran llenos. Por lo tanto:

$$\text{Carga aplicada} = \frac{\text{Carga de contenedor}}{\# \text{ de apoyos por contenedor}} \times \# \text{ de niveles} \times \# \text{ de contenedores por nivel}$$

$$\rightarrow \text{Carga aplicada} = \frac{48 \text{ tn}}{4} \times 4 \times 4 = 192 \text{ tn}$$

Del cuadro N° 04 del Anexo A, que indica el factor de reducción para contenedores, se obtiene que para 4 niveles de apilamiento de contenedores el factor de reducción es de 30%. Por lo tanto:

$$P = 192 \times (1 - 0.30) = 134.4 \text{ tn} = 1344 \text{ KN}$$

Donde P es la carga aplicada por los puntos de apoyo de cuatro contenedores en un mismo punto del pavimento. Asimismo, la presión ejercida por esa carga en el punto de apoyo es de 9.95 N/mm² y sobre un mismo punto, la presión ejercida es de 398.2 Kg/cm².

Con la carga obtenida se ingresa al Ábaco de dimensionamiento de base de concreto $C_{8/10}$ de la figura N° 03 del anexo B.2 y se obtiene un pre dimensionamiento del espesor de la base del pavimento, para un material de concreto $C_{8/10}$, igual a 615 mm.

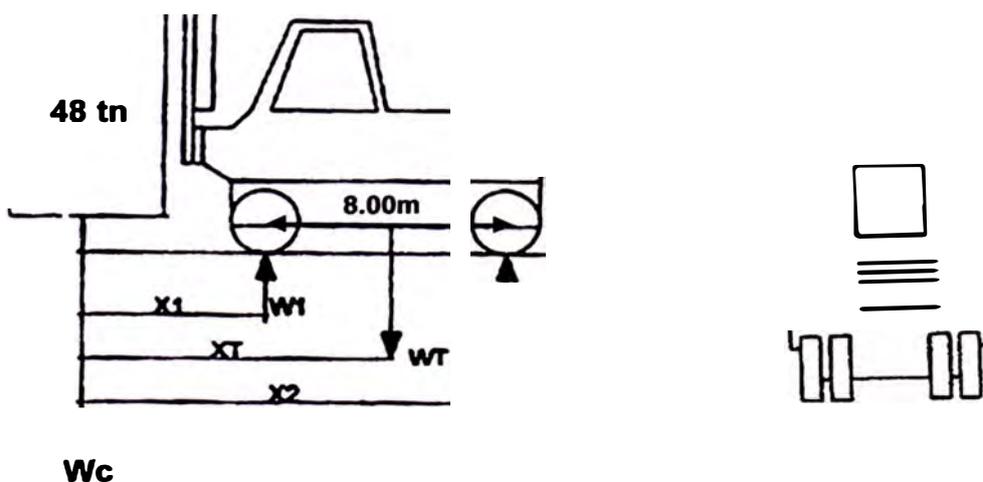
3.2.2. Cálculo de Cargas Dinámicas

El análisis estructural del pavimento a diseñar también se realiza en base a los efectos de las cargas estáticas y dinámicas generadas por el peso propio de los equipos de manipuleo y transporte de los contenedores de 40 pies, así como el tránsito de dichos equipos sobre el pavimento del patio de almacenamiento.

b) Cargas dinámicas originadas por el equipo Reach Stacker (cargador frontal)

El Reach Stacker es un equipo que se utilizará para el manipuleo de contenedores llenos. El diagrama de cargas que ejerce este equipo sobre el pavimento se muestra en la figura N° 3.02.

Figura N° 3.02 Diagrama de dimensiones y pesos utilizados en los cálculos de las cargas de las ruedas del equipo – Reach Stacker



Fuente: Manual de Diseño para Pavimentos para Puertos Chilenos

Datos del equipo:

- Peso del stacker no cargado, $W_T = 103 \text{ Tn}$
- Peso de contenedor crítico, $W_C = 48 \text{ Tn}$
- Ancho de equipo = 4.50 m
- Espaciamiento entre ejes delantero y trasero = 8.00 m
- Espaciamiento entre ejes = 3.38 – 2.36 m
- Tiempo de vida útil de diseño = 20 años
- Rendimiento de manipuleo del equipo = 12 contenedores/hora
- Número estimado de pasadas diarias del equipo sobre el pavimento en la zona con mayor tráfico (basado en las velocidades promedio del equipo) = 288 pasadas/día
- Tiempo de operatividad al año = 365 días
- CBR del suelo (sub rasante) = 10%

Del Diagrama de cargas de la Figura N° 3.02:

$$X_1 = 1.91 \text{ m}$$

$$X_2 = X_1 + 8.00 = 1.91 + 8.00 = 9.91 \text{ m}$$

$$X_T = X_2 - \frac{8.00}{2} = 9.91 - 4.00 = 5.91 \text{ m}$$

Del diagrama de cargas estáticas y al aplicar momentos en un punto de apoyo del equipo, se obtiene:

$$W_1 = f_d \times \frac{A_1 \cdot W_C + B_1}{M}$$

$$W_2 = f_d \times \frac{A_2 \cdot W_C + B_2}{2}$$

$$A_1 = \frac{-X_2}{X_1 - X_2}$$

$$A_2 = \frac{-X_1}{X_2 - X_1}$$

$$B_1 = \frac{W_T (X_T - X_2)}{X_1 - X_2}$$

$$B_2 = \frac{W_T (X_T - X_1)}{X_2 - X_1}$$

- Donde:
- W_1 : carga sobre rueda delantera (tn)
 - W_2 : carga sobre rueda trasera (tn)
 - W_C : peso máximo del contenedor (tn)
 - W_T : peso propio del stacker (tn)
 - M : número de ruedas en el eje delantero = 4 ruedas
 - f_d : factor dinámico

Entonces:

$$A_1 = \frac{-9.91}{1.91 - 9.91} = 1.24$$

$$A_2 = \frac{-1.91}{9.91 - 1.91} = -0.24$$

$$B_1 = \frac{103(5.91 - 9.91)}{1.91 - 9.91} = 51.5 \text{ tn}$$

$$B_2 = \frac{103(5.91 - 1.91)}{9.91 - 1.91} = 51.5 \text{ tn}$$

Luego, del cuadro N° 05 del Anexo A se extraen los factores dinámicos que se aplicarán a las cargas estáticas de los equipos seleccionados para el manipuleo de los contenedores llenos y vacíos, los cuales se muestran en el cuadro N° 3.08.

Cuadro N° 3.08 Factores de carga dinámica (fd). Las cargas estáticas están incrementadas por los porcentajes que figuran en esta tabla

Equipo de manipuleo	Frenado	Operación en esquinas	Aceleración	Superficie Irregular
Reach Stacker	±30%	40%	10%	20%
Fork lift	±30%	40%	10%	20%
Terminal Tractor y remolque	±10%	30%	10%	20%

Fuente: *The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industres*
Manual de Diseño para Pavimentos para Puertos Chilenos

Por lo tanto, si se considera que el equipo frena mientras opera en una curva, debido a la proximidad de las llantas existe un aumento de la deformación y del esfuerzo en el pavimento. Entonces, los factores dinámicos a considerar para el stacker son:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Frenado} = \pm 30\% \\ \text{Por efecto de curvas} = 40\% \end{array} \right\} \rightarrow f_d = \begin{cases} 70\% \text{ (eje delantero)} \\ 10\% \text{ (eje trasero)} \end{cases}$$

Entonces, las cargas en los ejes delantero y trasero, respectivamente son:

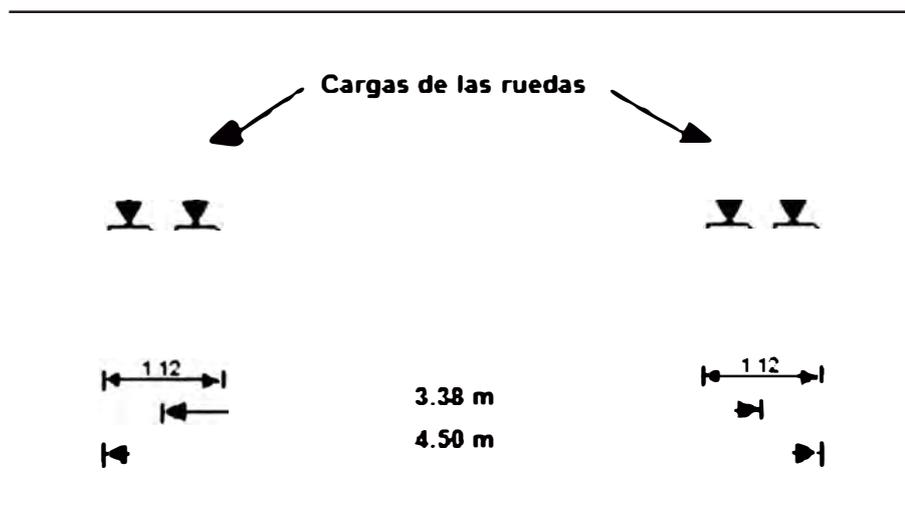
- Carga por rueda en eje delantero = $W_1 = 1.70 \times \frac{1.24 \cdot 48 + 51.5}{4} = 47.2 \text{ tn}$

- Carga por rueda en eje trasero = $W_2 = 1.10 \times \frac{-0.24 \cdot 48 + 51.5}{2} = 21.99 \text{ tn}$

La proximidad de las cargas de las ruedas se consideran para evaluar sus tensiones de interacción; para esto es necesario calcular la profundidad efectiva a la que actúan las cargas sobre la base del pavimento. Esta profundidad se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Profundidad efectiva} = 300 \times \sqrt[3]{\frac{35000}{\text{CBR} \times 10}} = 300 \times \sqrt[3]{\frac{35000}{10 \times 10}} = 2114 \text{ mm}$$

Figura N° 3.03 Esquema de cargas sobre ruedas en el eje delantero del Stacker



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.04 Esquema de cargas sobre ruedas en el eje trasero del Stacker



Fuente: Elaboración propia

Luego, se aplican los factores de proximidad para los espaciamientos entre ruedas del eje delantero del stacker (1120, 3380 y 4500 mm) de la figura 3.03 y

del eje trasero (2790 mm) de la figura 3.04. Estos factores se obtienen interpolando los valores del cuadro N° 06 del Anexo A. Por lo tanto, los valores obtenidos se muestran en el cuadro N° 3.09.

Cuadro N° 3.09 Factores de proximidad de ruedas para el Stacker

Espaciamiento entre ruedas (mm)	Factor de proximidad para profundidad efectiva de la base de:		
	2000 mm	2114 mm	3000 mm
900	1.65		1.82
1120	1.52	1.54	1.74
1200	1.47		1.71
2400	1.02		1.27
2790	1.01	1.03	1.19
3380	1.00	1.01	1.07
3600	1.00		1.02
4500	1.00	1.00	1.01
4800	1.00		1.00

Fuente: *The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries*
Manual de Diseño para Pavimentos para Puertos Chilenos

Los factores de proximidad obtenidos son:

- Eje delantero: 1.54, 1.01 y 1.00 → Por proximidad = 1.00 + 0.54 + 0.01 = 1.55
- Eje trasero: 1.03

Entonces, las cargas efectivas por rueda serán:

- Carga efectiva de rueda (eje delantero) = 1.55 × 47.20 tn = 73.16 tn
- Carga efectiva de rueda (eje trasero) = 1.03 × 21.99 tn = 22.65 tn

Considerando que, la distancia entre el centro del eje delantero del equipo a las ruedas interiores es de 1.395 m y el largo total entre el centro del eje delantero y las ruedas extremas es 1.985 m; entonces, el factor de incidencia de la carga en el eje delantero para las ruedas interiores a ser aplicado es:

$$\text{Factor de incidencia} = \frac{1.395}{1.985} = 0.70$$

Por lo tanto:

- Carga en rueda delantera exterior = 73.16 tn = 731.6 KN
- Carga en rueda delantera interior = 73.16 tn × 0.70 = 51.21 tn = 512.1 KN
- Carga en rueda trasera = 22.65 tn = 226.5 KN

Luego, con el número estimado de pasadas del stacker sobre el lugar con mayor tráfico del pavimento durante su vida de diseño y con el efecto de deterioro que transmite cada rueda del equipo al pavimento, se calcula el número final de pasadas del equipo, en función a la carga más pesada.

- Número estimado de pasadas del stacker = $20 \times 365 \times 288 = 2'102,400$ pasadas

Así, el efecto de deterioro que transmite cada rueda es:

- Carga en ruedas delanteras exteriores es equivalente a una pasada de la carga máxima = 731.6 KN
- Carga en ruedas delanteras interiores es $(561.7/802.4)^{3.75} = 0.26$ pasadas de la carga crítica
- Carga en ruedas traseras es $(248.5/802.4)^{3.75} = 0.01$ pasadas

Todas las repeticiones o pasadas del equipo son convertidas a un número equivalente de repeticiones de la rueda más pesada, de modo que la carga individual equivalente, usada en el diseño, se deriva de la carga de rueda más pesada.

Entonces, cada vez que el stacker pasa sobre un mismo lugar, ésta aplica el equivalente de $(1+0.26+0.01) = 1.27$ repeticiones de la carga de 731.6 KN.

Entonces:

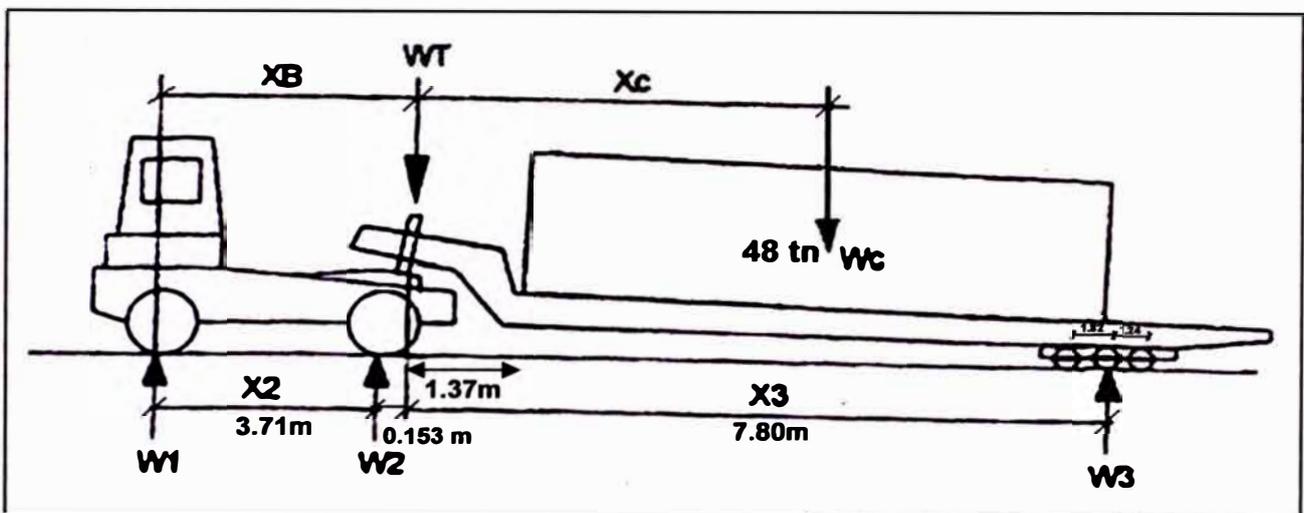
Número final de pasadas del stacker = $1.27 \times 2'102,400 = 2'670,048$ pasadas

Esto significa que el pavimento necesita ser diseñado para 2.7 millones de pasadas de una carga de 731.6 KN. Con estos dos valores se ingresa al ábaco de la figura N° 05 del Anexo B.2, y se obtiene que el espesor de diseño de la base del pavimento para un concreto $C_{8/10}$ debe ser 640 mm.

c) Cargas dinámicas originadas por el Camión de transporte de Contenedores (Container Trailer o Terminal Truck)

El tráiler de contenedores es un equipo que se utilizará para el transporte de los contenedores llenos y vacíos, del muelle hacia el patio de contenedores y viceversa. El diagrama de cargas que ejerce este equipo sobre el pavimento se muestra en la figura N° 3.05.

Figura N° 3.05 Diagrama de dimensiones y pesos utilizados en los cálculos de las cargas de las ruedas del equipo – Tráiler y Semirremolque



Fuente: Manual de Diseño para Pavimentos para Puertos Chilenos

Datos del equipo:

- Carga sobre ruedas del eje delantero del tractor no cargado, $U_1 = 5.44 \text{ Tn}$
- Carga sobre ruedas del eje trasero del tractor no cargado, $U_2 = 18.14 \text{ Tn}$
- Carga sobre ruedas del semirremolque no cargado, $U_3 = 30.62 \text{ Tn}$
- Peso crítico de contenedor cargado, $W_C = 48 \text{ Tn}$
- Ancho de equipo = 2.44 m
- Espaciamiento entre ejes delantero y trasero = 3.71 – 7.80 – 1.82 – 1.24 m
- Espaciamiento entre ejes del tractor (transversal)= 2.13 – 1.80 m
- Espaciamiento entre ejes del semirremolque (transversal)= 1.02 – 1.02 m
- Tiempo de vida útil de diseño = 20 años
- Rendimiento de transporte de contenedores = 9 contenedores/hora

- Número estimado de pasadas diarias del equipo sobre el pavimento en la zona con mayor tráfico (basado en las velocidades promedio del equipo) = 216 pasadas/día
- Tiempo de operatividad al año = 365 días
- CBR del suelo (sub rasante) = 10%

Del Diagrama de cargas de la Figura N° 3.05:

$$X_2 = 3.71 \text{ m}$$

$$X_3 = 7.80 \text{ m}$$

$$X_c = \frac{X_3 + 1.37}{2} = \frac{7.80 + 1.37}{2} = 4.585 \text{ m}$$

$$X_b = X_2 + 0.153 = 3.71 + 0.153 = 3.863 \text{ m}$$

Del diagrama de cargas estáticas y al aplicar momentos en un punto de apoyo del equipo, se obtiene:

$$W_1 = f_d \times \left[U_1 + \frac{W_c \cdot [1 - A] \cdot [1 - B]}{M_1} \right] \qquad W_2 = f_d \times \left[U_2 + \frac{W_c \cdot [1 - A] \cdot B}{M_2} \right]$$

$$W_3 = f_d \times \left[U_3 + \frac{W_c \cdot A}{M_3} \right] \qquad A = \frac{X_c}{X_3} \qquad B = \frac{X_b}{X_2}$$

Donde:

- W_1 : carga sobre ruedas delanteras del tractor (tn)
- W_2 : carga sobre ruedas traseras del tractor (tn)
- W_3 : carga sobre ruedas del semirremolque (tn)
- W_c : peso máximo del contenedor (tn)
- M_1 : número de ruedas en el eje delantero del tractor = 2 ruedas
- M_2 : número de ruedas en el eje trasero del tractor = 8 ruedas
- M_3 : número de ruedas en los ejes del semirremolque = 12 ruedas
- U_1 : carga sobre ruedas delanteras del tractor – no cargado (tn)
- U_2 : carga sobre ruedas traseras del tractor – no cargado (tn)
- U_3 : carga sobre ruedas del semirremolque – no cargado (tn)
- f_d : factor dinámico

Entonces:

$$A = \frac{4.585}{7.80} = 0.59$$

$$B = \frac{3.863}{3.71} = 1.04$$

Luego, del cuadro N° 05 del Anexo A se extraen los factores dinámicos que se aplicarán a las cargas estáticas de los equipos seleccionados para el transporte de los contenedores llenos y vacíos, los cuales se muestran en el cuadro N° 3.08.

Por lo tanto, si se considera que el equipo frena mientras opera en una curva, debido a la proximidad de las llantas existe un aumento de la deformación y del esfuerzo en el pavimento. Entonces, los factores dinámicos a considerar para el tráiler y el semirremolque son:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Frenado} = \pm 10\% \\ \text{Por efecto de curvas} = 30\% \end{array} \right\} \rightarrow f_d = \begin{cases} 40\% \text{ (eje delantero)} \\ 20\% \text{ (eje trasero)} \end{cases}$$

Entonces, las cargas en los ejes delantero y trasero del tractor y del semirremolque, respectivamente son:

- Carga por rueda en eje delantero del tractor =

$$W_1 = 1.40 \times \left[5.44 + \frac{48 \cdot [1 - 0.59] \cdot [1 - 1.04]}{2} \right] = 7.06 \text{ tn}$$

- Carga por rueda en eje trasero del tractor =

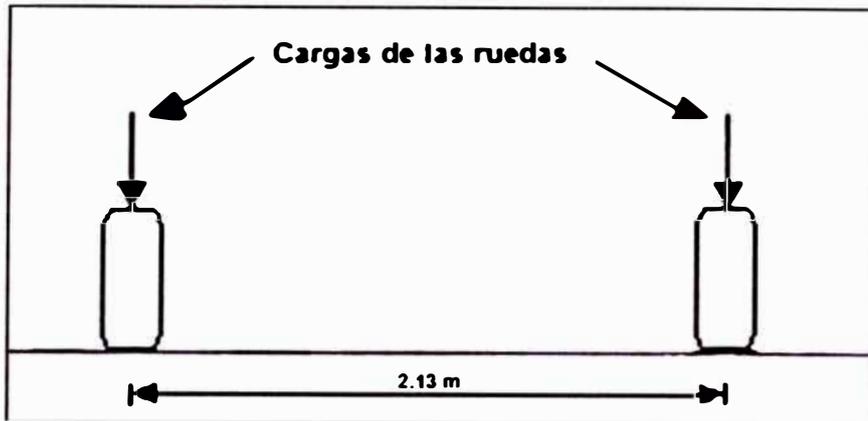
$$W_2 = 1.40 \times \left[18.14 + \frac{48 \cdot [1 - 0.59] \cdot 1.04}{8} \right] = 28.98 \text{ tn}$$

- Carga por rueda en eje de semirremolque =

$$W_3 = 1.20 \times \left[30.62 + \frac{48 \cdot 0.59}{12} \right] = 39.58 \text{ tn}$$

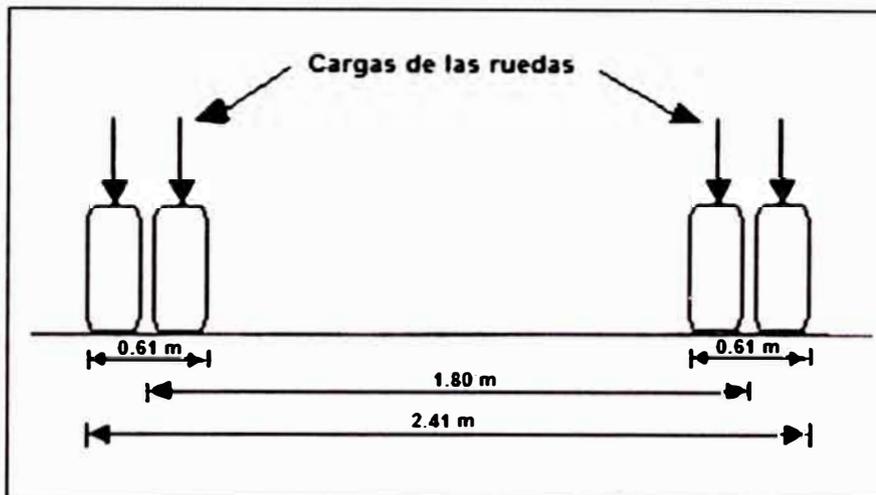
Con la profundidad efectiva igual a 2114 mm, se calcula la proximidad de las cargas de las ruedas del tráiler y el semirremolque. Las distancias entre ejes se muestran en las figuras N° 3.06, 3.07, 3.08 y 3.09.

Figura N° 3.06 Esquema de cargas sobre ruedas en el eje delantero del Tráiler



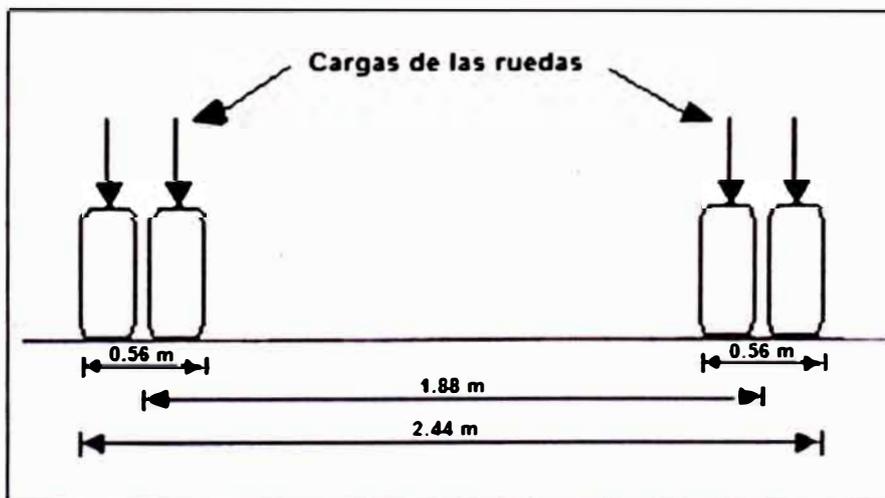
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.07 Esquema de cargas sobre ruedas en el eje trasero del Tráiler



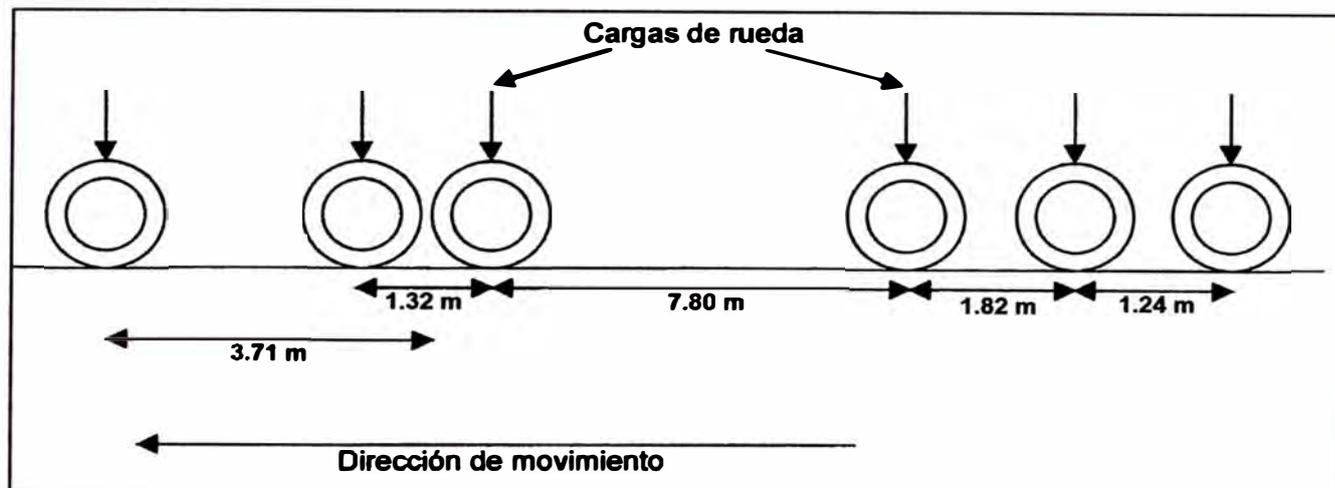
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.08 Esquema de cargas sobre ruedas en el eje del Semirremolque



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.09 Esquema de cargas sobre ruedas de ejes longitudinales del Tráiler y Semirremolque



Fuente: Elaboración propia

Luego, se aplican los factores de proximidad para los espaciamientos entre ruedas del eje delantero del tráiler (2130 mm) de la figura 3.06, del eje trasero del tráiler (610, 1800 y 2410 mm) de la figura 3.07, y del eje del semirremolque (560, 1880 y 2440 mm) de la figura N° 3.08. Estos factores se obtienen interpolando los valores del cuadro N° 06 del Anexo A. Por lo tanto, los valores obtenidos se muestran en el cuadro N° 3.10.

Cuadro N° 3.10 Factores de proximidad de ruedas para el Tráiler y semirremolque

Espaciamiento entre ruedas (mm)	Factor de proximidad para profundidad efectiva de la base de:		
	2000 mm	2114 mm	3000 mm
300	1.95		1.98
560	1.84	1.85	1.92
600	1.82		1.91
610	1.81	1.82	1.91
900	1.65		1.82
1200	1.47		1.71
1800	1.19	1.22	1.47
1880	1.17	1.20	1.44
2130	1.10	1.13	1.36
2400	1.02		1.27
2410	1.02	1.05	1.27
2440	1.02	1.05	1.26
3600	1.00		1.02

Fuente: *The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries*

Manual de Diseño para Pavimentos para Puertos Chilenos

Los factores de proximidad obtenidos son:

- Eje delantero del tráiler: 1.13
- Eje trasero del tráiler: 1.82, 1.22 y 1.05 → Por proximidad = 1.00 + 0.82 + 0.22 + 0.05 = 2.09
- Eje del semirremolque: 1.85, 1.20 y 1.05 → Por proximidad = 1.00 + 0.85 + 0.20 + 0.05 = 2.10

Entonces, las cargas efectivas por rueda serán:

- Carga efectiva de rueda (eje delantero del tráiler) = 1.13 × 7.06 tn = 7.98 tn
- Carga efectiva de rueda (eje trasero del tráiler) = 2.09 × 28.98 tn = 60.57 tn
- Carga efectiva de rueda (eje del semirremolque) = 2.10 × 39.58 tn = 83.12 tn

Considerando que, la distancia entre el centro del eje delantero del semirremolque a las ruedas interiores es de 3.90 m y el largo total entre el centro del eje delantero y las ruedas centrales es 4.81m; entonces, el factor de incidencia de la carga en el eje del semirremolque para las ruedas interiores a ser aplicado es:

$$\text{Factor de incidencia eje interior de semirremolque} = \frac{3.90}{4.81} = 0.81$$

Análogamente, se calculan los factores de incidencia para las demás ruedas del semirremolque y del tráiler.

$$\text{Factor de incidencia eje exterior de semirremolque} = \frac{5.43}{4.81} = 1.13$$

$$\text{Factor de incidencia eje interior de tráiler} = \frac{1.855}{2.66} = 0.70$$

Por lo tanto:

- Carga en rueda delantera del tráiler = 7.98 tn = 79.80 KN
- Carga en rueda trasera interior del tráiler = 60.57 tn × 0.70 = 42.40 tn = 424 KN
- Carga en rueda trasera exterior del tráiler = 60.57 tn = 605.7 KN
- Carga en rueda de eje interior del semirremolque = 83.12 tn × 0.81 = 67.33 tn = 673.30 KN
- Carga en rueda de eje central del semirremolque = 83.12 tn = 831.20 KN

- Carga en rueda de eje exterior del semirremolque = $83.12 \text{ tn} \times 1.13 = 93.93 \text{ tn}$
= 939.30 KN

Luego, con el número estimado de pasadas del tráiler sobre el lugar con mayor tráfico del pavimento durante su vida de diseño y con el efecto de deterioro que transmite cada rueda del equipo al pavimento, se calcula el número final de pasadas del equipo, en función a la carga más pesada.

- Número estimado de pasadas del tráiler y semirremolque = $20 \times 365 \times 216 = 1'576,800$ pasadas

Así, el efecto de deterioro que transmite cada rueda es:

- Carga en ruedas exteriores del semirremolque es equivalente a una pasada de la carga máxima = 939.30 KN
- Carga en ruedas centrales del semirremolque es $(957.80/1082.30)^{3.75} = 0.63$ pasadas de la carga crítica
- Carga en ruedas interiores del semirremolque es $(775.80/1082.30)^{3.75} = 0.29$ pasadas de la carga crítica
- Carga en ruedas traseras exteriores del tráiler es $(707.10/1082.30)^{3.75} = 0.20$ pasadas de la carga crítica
- Carga en ruedas traseras interiores del tráiler es $(495.0/1082.30)^{3.75} = 0.05$ pasadas de la carga crítica
- Carga en ruedas delanteras del tráiler es $(89.70/1082.30)^{3.75} = 0.00009$ pasadas de la carga crítica

Todas las repeticiones o pasadas del equipo son convertidas a un número equivalente de repeticiones de la rueda más pesada, de modo que la carga individual equivalente, usada en el diseño, se deriva de la carga de rueda más pesada.

Entonces, cada vez que el container truck (tráiler y semirremolque) pasa sobre un mismo lugar, ésta aplica el equivalente de $(1+0.63+0.29+0.20+0.05) = 2.17$ repeticiones de la carga de 939.30 KN. Entonces:

Número final de pasadas del container truck = $2.17 \times 1'576,800 = 3'421,656$
pasadas

Esto significa que el pavimento necesita ser diseñado para 2.4 millones de pasadas de una carga de 939.30 KN. Con estos dos valores se ingresa al ábaco de la figura N° 06 del Anexo B.2, y se obtiene que el espesor de diseño de la base del pavimento para un concreto $C_{8/10}$ debe ser 725 mm.

d) Cargas dinámicas originadas por el equipo Fork Lift (grúa de horquillas)

La grúa de horquillas (Fork lift) es un equipo que se utilizará para el manipuleo de los contenedores vacíos dentro del patio de almacenamiento de contenedores. Debido a que este equipo es de menores dimensiones que los otros equipos analizados y las cargas que va a soportar son mucho menores que las que soportan los otros equipos, el efecto que genera las cargas de este equipo sobre el pavimento será menor al efecto originado por las cargas ejercidas por el tráiler y el reach stacker.

Es así que, al realizar el análisis de cargas respectivo, se obtuvo que la carga máxima que soportará el pavimento debido al peso y tránsito del fork lift será igual a 327.10 KN, lo que origina un espesor de diseño para la base igual a 410 mm, para un concreto tipo $C_{8/10}$, mostrado en la figura N° 04 del anexo B.2.

3.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.3.1. Efecto de Cargas Estáticas y Dinámicas sobre el pavimento

De acuerdo al análisis estructural realizado, el efecto de las cargas estáticas ejercidas por el peso de los contenedores almacenados sobre el pavimento es mayor que el efecto que producen las cargas provenientes de los equipos de manipuleo y transporte. Sin embargo, el efecto dinámico que ejercen las cargas de los equipos debido a su peso propio y al tránsito de los mismos sobre el pavimento, origina un deterioro mayor del pavimento, por lo que, al ingresar al ábaco de diseño del espesor de la base del pavimento, el espesor obtenido

debido a cargas de los equipos es mayor que el que se obtiene al ingresar al ábaco del espesor de base por efecto de carga de contenedores.

3.3.2. Elección de cargas para efectos de diseño

Del análisis estructural realizado para la determinación de las cargas debido al efecto de los equipos y el apilamiento de contenedores, se obtuvo una carga máxima y un espesor de diseño base, para cada caso. El resumen de estas cargas y espesores obtenidos se muestra en el cuadro N° 3.11.

Cuadro N° 3.11 Cargas máximas y espesores de base del pavimento por efecto de cargas estáticas y dinámicas

Equipo / Contenedores	Carga Máxima (KN)	N° pasadas de carga	Espesor de base $C_{B/10}$ (mm)
Bloques de contenedores almacenados	1,344.00	---	615
Reach Stacker	731.60	2'670,048	640
Tráiler y semirremolque	939.30	3'421,656	725
Fork lift	327.10	2,176,313	410

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro N° 3.11, se puede observar que el mayor espesor para la base del pavimento se obtuvo debido a las cargas originadas por el peso y tránsito de los camiones de transporte de contenedores, por lo que el diseño final del pavimento se hará en base a estos resultados.

3.4. DISEÑO DEL PAVIMENTO PORTUARIO

Con los resultados obtenidos en el análisis estructural de cargas sobre el pavimento del patio de almacenamiento y la elección de la carga máxima y el espesor base de diseño, se procede a diseñar las otras capas del pavimento portuario.

Del ábaco de diseño de la figura N° 06 del anexo B.2, se obtuvo un espesor de la base del pavimento para un concreto $C_{B/10}$ igual a 725 mm. A partir de este espesor estándar calculado para la base del pavimento, se calculan los espesores de las otras capas.

- El espesor de la sub base del pavimento se determina en función de las características de resistencia al corte de la sub rasante o suelo de fundación, según lo mostrado en el cuadro N° 07 del Anexo A.

Por lo tanto, para una sub rasante natural (arena de playa), con un CBR = 10%, el espesor de la sub base será igual a 150 mm, para un material granular suelto sin compactar, considerado como material para sub base tipo 1. Para efectos de diseño, es necesario convertir el espesor de la capa de sub base en función al material que se va a utilizar. Para este caso, se utilizará una sub base de clase 2 tipo C_{3/4} (material granular, CBR = 40%, 200 Mpa).

Del cuadro N° 08 del Anexo A se tiene que el factor de equivalencia para un material granular sin compactar es 3.00 y para un material tipo C_{3/4} es 1.38.

Por lo tanto, el espesor de la sub base estándar tipo 1 es igual a $150 \times \frac{1.38}{3.00} = 69.0$ mm de C_{3/4}.

Esto significa que el espesor de sub base escogida es más resistente que la sub base no consolidada tipo 1, por lo que la diferencia del nuevo espesor se expresa como $150 - 69.0 = 81.0$ mm de C_{3/4}. Con el factor de equivalencia del cuadro N° 07 del anexo A del material tipo C_{3/4} (1.38 de concreto C_{8/10}) y el factor del material granular consolidado tipo CBM4 (0.80 de concreto C_{8/10}), se calcula el nuevo espesor de la capa de la base del pavimento.

El nuevo espesor equivalente será igual a $\frac{81.0}{1.38} = 58.70$ mm de espesor de material C_{8/10}. Por lo tanto, el espesor de la base se puede reducir en 58 mm para ese material de concreto.

Entonces, el espesor de la base del pavimento será igual a $725 - 58 = 667$ mm, para un material de concreto C_{8/10}.

Del cuadro N° 07 de Factores de equivalencia de materiales del Anexo A se determinan los espesores para las diferentes capas del pavimento:

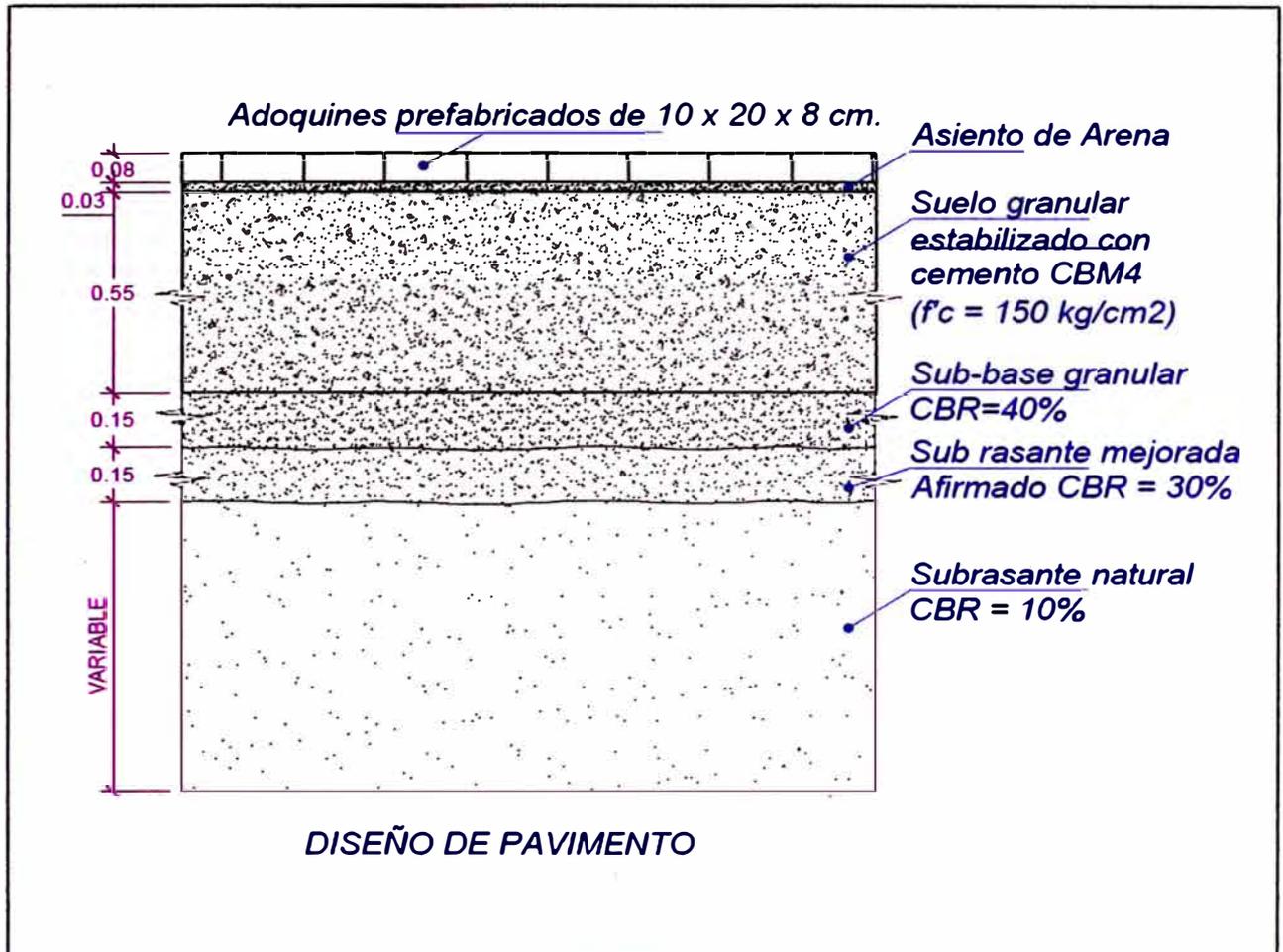
- Para una base de material granular de suelo – cemento CBM4 (150 Kg/cm^2) = $667 \times 0.80 = 534 \text{ mm}$.
- Para la superficie de rodadura, se colocarán adoquines de concreto de 80 mm de espesor, apoyados sobre una cama de arena de 30 mm de espesor (el espesor de esta cama de arena debe ser un tercio del espesor del adoquín y no mayor de 5 cm) ^{[7], [12]}
- En el caso de la sub rasante, ésta será mejorada con el reemplazo del suelo de fundación por una capa de material de afirmado de CBR = 30%. Este reemplazo se hará solo por efectos de procesos constructivos, para garantizar la trabajabilidad del material de la sub base y la sub rasante. El espesor de esta capa será 150 mm.

Finalmente, se muestra el diseño del pavimento obtenido para este cálculo de cargas dinámicas por efecto del peso y tránsito del container truck (tráiler y semirremolque).

- *Superficie de rodadura:* Adoquines prefabricados de concreto de 80 mm, apoyados sobre una cama de arena de 30 mm de espesor.
- *Base:* 550 mm de material granular estabilizado suelo – cemento tipo CBM4.
- *Sub base:* 150 mm de material granular tipo $C_{3/4}$, CBR = 40%.
- *Sub rasante mejorada:* 150 mm de material granular, CBR = 30%.

El diseño final del pavimento del patio de almacenamiento de contenedores se muestra en la figura N° 3.10, cuyas medidas se encuentran expresadas en metros.

Figura N° 3.10 Esquema de diseño del pavimento del patio de almacenamiento de contenedores



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: EXPEDIENTE TÉCNICO

4.1. MEMORIA DESCRIPTIVA

4.1.1. Subsuelo

El subsuelo es el material natural del terreno; conformado por arena de playa del litoral del norte del Perú. Se asume que el subsuelo tiene un CBR igual a 10%.

4.1.2. Capa de Sub rasante mejorada

Debido a que el subsuelo está conformado por arena con 10% de CBR, para lograr mayor trabajabilidad de este sub suelo durante la colocación de la sub base, por proceso constructivo será necesario realizar un escarificado y mejoramiento del sub suelo de 150 mm de espesor. La tolerancia de este material es 50 mm y requiere un CBR > 15%. El material a utilizar será afirmado con CBR igual a 30%.

4.1.3. Sub base

Para un subsuelo con 10% de CBR, el manual de la British Ports Association (BPA) exige que el cimientado del pavimento incluya un material de sub suelo de 200 mm de espesor sobre la sub rasante. La tolerancia del subsuelo es de 50 mm y requiere un CBR > 20%. En este caso, la sub base será de material granular con CBR igual a 40%.

4.1.4. Diseño del pavimento para el apilamiento de contenedores

El pavimento presupuesto es un diseño operativamente flexible que puede resistir la carga de las pilas de contenedores, tractores/remolques, equipos Fork Lifts para el manipuleo de contenedores vacíos y el uso de equipos Reach Stackers para el manipuleo de contenedores llenos.

Para la base se utilizará una mezcla de suelo granular estabilizado con cemento CBM4, de 150 kg/cm² de resistencia. El espesor de la capa CBM4 se puede

calcular según las cargas, densidad de circulación y calidad de sub suelo. Los reach stackers con carga son la principal referencia para designar el espesor, cuya aplicación se calcula en un mínimo de 534 mm CBM4. El espesor aplicado debería ser de 550 mm, tomando en cuenta una tolerancia de 20 mm. La construcción del pavimento diseñado para el patio de almacenamiento se realizará según lo mostrado en el cuadro N° 4.01.

Cuadro N° 4.01 Sección del pavimento de diseño

Capa	Espesor nominal (mm)	Tolerancia del espesor (mm)	CBR (%)
Adoquines de concreto	80	+3/-3	-
Arena de asiento	30	+12/-0	-
CBM4	550	+20/-20	> 40
Sub base	150	+50/-50	= 40
Sub rasante mejorada	150	+50/-50	= 30
Subsuelo	-	-	= 10%

Fuente: Informe del Diseño del Pavimento del Callao – Terminal de Contenedores del Callao – DP World

4.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

4.2.1. Generalidades

Los pavimentos que se construirán en virtud del Contrato son de 2 tipos:

- Pavimento existente en el área de manipulación de contenedores que será removido y repuesto con nuevo pavimento.
- Pavimento en la zona de ampliación del patio de almacenamiento.

Los requerimientos para la uniformidad de la superficie acabada y del nivel final del pavimento en bloques de concreto son como sigue:

- La tolerancia del nivel acabado oscila entre + 20 mm y – 10 mm
- La diferencia del nivel entre los bloques adyacentes no será más de 2 mm.
- En un borde recto de 3 m la diferencia de nivel no excederá los 5 mm.

4.2.2. Construcción del pavimento del patio de contenedores

a) Generalidades

Se prevé construir un nuevo pavimento en toda el área del patio de contenedores, tal como se muestra en los planos. Los requerimientos del nuevo pavimento serán como se indica en éstas especificaciones y como se muestran en los planos.

El sub suelo del nuevo pavimento será:

- La parte superior del material existente en donde se haya removido el pavimento actual y donde se haya ampliado el patio de contenedores.

b) Preparación del Sub suelo

i. Requerimientos de compactación del Subsuelo en donde se haya removido el pavimento existente

• Generalidades

El pavimento existente y el material de abajo serán retirados hasta 150 mm debajo del nivel inicial de la sub base. El tope del material que permanezca en el sitio será el sub suelo para la construcción del nuevo pavimento.

• Requerimiento de Compactación

El sub suelo será compactado al 95% de la MDS del Próctor modificado como mínimo. Esto podría requerir que el sub suelo existente sea escarificado y humedecido antes de compactarlo.

• Tolerancia

Las tolerancias permitidas se detallan en las especificaciones.

• Pruebas

Las pruebas de compactación se realizarán de a cuerdo a la malla, según se detalla en esta cláusula.

c) Capa de Sub rasante mejorada

i. Generalidades

La sub rasante será mejorada en un espesor nominal de 150 mm. Este mejoramiento de la sub rasante se hará con fines de proceso constructivo, de manera que logre trabajabilidad al colocar la capa de la sub base sobre esta sub rasante.

Dicha capa será colocada encima del sub suelo compactado, que es la parte superior del relleno o el material que quedó en el lugar donde el pavimento haya sido retirado. El material para la capa de sub rasante mejorada será material de afirmado, con un CBR de 30%.

Los requerimientos para la colocación de la capa de sub rasante mejorada se detallan en las siguientes cláusulas.

ii. Materiales

La capa de la sub rasante mejorada (capping layer) tendrá un valor CBR igual a 30% o más si se ensaya de conformidad con el BS 1377: Parte 4.

• Requerimientos de Clasificación

La grava que se va a utilizar como material para mejorar la capa de la sub rasante deberá cumplir con los porcentajes y tamices siguientes:

Medida de tamiz BS	% Pasadas
75 mm	100
37.5 mm	85 – 100
10 mm	40 – 100
5 mm	25 – 85
600 micrón	8 – 45
75 micrón	0 – 10

La distribución del tamaño de la partícula será determinada por el método de lavado y cribado del BS 812.103.1:1985.

- **Propiedades Físicas**

Las propiedades físicas del material que se va a usar para la sub rasante mejorada se muestran en el cuadro N° 4.02.

Cuadro N° 4.02 Propiedades Físicas de la Sub rasante mejorada

Propiedad	Requerimientos Mínimos	Estándar de Pruebas
Gravedad específica mínima del promedio de rocas, saturadas, superficie seca, kg/m ³	2600	BS 812
Gravedad específica mínima de 90% de las rocas, saturadas, superficie seca, kg/m ³	2550	BS 812

Fuente: Informe del Diseño del Pavimento del Callao – Terminal de Contenedores del Callao – DP World

El material que pase la criba de BS 425 micrones será no plástico según se define en el BS 1377.

- **Colocación de la capa de Sub rasante mejorada**

La colocación de la capa de sub rasante mejorada se realizará por medio de una máquina pavimentadora. Dicha pavimentadora será provista con los medios adecuados para controlar el nivel de la capa colocada; deberá permitir colocar el material de rodadura sin segregación del material.

La capa de la sub rasante a mejorar será colocada en una operación. Se deberá controlar el contenido de humedad, que al momento de la colocación debe ser hasta un 2% mayor que el contenido de humedad ideal según lo determine el tipo de material en particular. La compactación de esta capa se realizará en una sola capa de 150 mm, hasta alcanzar un grado de compactación de 95% de la MDS del Próctor modificado.

Se requiere un cuidado especial en la construcción de las juntas longitudinales entre las franjas de material colocadas. Antes de colocar la franja que será adjunta a una franja previamente instalada, el borde la franja previamente instalada será revisada por posibles desviaciones en el nivel requerido, segregación y falta de compactación. Cualquier insuficiencia semejante será

retirada y reemplazada con la colocación de la siguiente franja. Los mismos requerimientos se aplican a las juntas transversales en una franja.

- **Tolerancia**

La tolerancia permitida al nivel compactado de la capa de la sub rasante oscila entre +50 mm y -50 mm del nivel proyectado.

- **Pruebas**

Luego de culminar la operación de rodamiento y de la aceptación de los niveles de la capa, se determinará el valor CBR de la capa compactada, y las pruebas deberán realizarse en una plantilla y bajo los requerimientos especificados para las pruebas del subsuelo mencionado anteriormente.

d) Capa Sub base

i. Generalidades

La capa sub base será construida con un espesor nominal de 150 mm.

ii. Materiales

El material para la capa sub base será material granular que cumpla con los requerimientos especificados líneas abajo. La sub base compactada deberá tener un valor CBR de 40%.

- **Requerimientos de Clasificación**

Medida de tamiz BS	% Pasadas
75 mm	100
37.5 mm	85 – 100
10 mm	40 – 70
5 mm	25 – 45
600 micrón	8 – 22
75 micrón	0 – 10

La distribución del tamaño de la partícula será determinada por el método de lavado y cribado del BS 812-103.1:1985.

- **Propiedades Físicas**

Las propiedades físicas del material que se va a usar para la sub base se muestran en el cuadro N° 4.03.

Cuadro N° 4.03 Propiedades Físicas de la Sub base

Propiedad	Requerimientos Mínimos	Estándar de Pruebas
Gravedad específica mínima del promedio de rocas, saturadas, superficie seca, kg/m ³	2600	BS 812
Gravedad específica mínima de 90% de las rocas, saturadas, superficie seca, kg/m ³	2550	BS 812

Fuente: Informe del Diseño del Pavimento del Callao – Terminal de Contenedores del Callao – DP World

El material que pase la criba de BS 425 micrones será no plástico según se define en el BS 1377.

- **Colocación de la Capa Sub base**

La colocación de la capa sub base se realizará por medio de una pavimentadora que cumpla con los requerimientos según se indicaron para la colocación de la capa de la sub rasante mejorada mencionada anteriormente.

La compactación de la capa sub base se realizará en una sola capa de 150 mm, hasta alcanzar un grado de compactación del 98% de la MDS del Próctor modificado.

La revisión y reparación de las juntas longitudinales entre las franjas de material colocado serán realizadas de acuerdo con los requerimientos de la capa de sub rasante mencionada anteriormente.

- **Tolerancia**

La tolerancia permitida del nivel compactado de la capa sub-base oscila entre + 50 mm y – 50 mm del nivel proyectado.

En cualquier área en donde el material se encontrara fuera de la tolerancia luego de la compactación, se escarificará la parte superior de la capa sub base, se

agregará o retirará material como corresponda y, si fuese necesario, se humedecerá el área y se reafirmará.

- **Pruebas**

Luego de la culminación del afirmado y de la aceptación de los niveles de la capa sub base, se determinará el valor CBR de la capa compactada. Las pruebas serán efectuadas en la plantilla y cumpliendo con los requerimientos especificados para las pruebas del material de sub rasante mencionado anteriormente.

e) Capa de Suelo estabilizado con Cemento tipo CBM4

i. Generalidades

La capa de suelo granular estabilizado con cemento tipo CBM4 (Cement Bound Material 4) se construirá con un espesor nominal de 550 mm. Este espesor requiere que la ejecución de la obra se realice en dos capas de 200 mm de espesor cada una y una capa superior de 150 mm de espesor. Este suelo estabilizado con cemento será de una resistencia igual a 150 kg/cm².

Los requerimientos a ser aplicados para esta capa de base se detallan a continuación.

ii. Método Constructivo

Con respecto a la construcción de la capa CBM4, el Contratista someterá el método constructivo que se va a utilizar para su aprobación. Dicho método incluirá detalles completos de la mezcla propuesta, del método de la mezcla, transporte, colocación, y compactación del material, del sistema de secado que se empleará, de la preparación de los bordes en donde se unen las franjas y de todos los otros temas pertinentes a la construcción de la capa CBM4 como control del espesor de la capa, control de nivel y control de calidad.

El método constructivo incluirá detalles completos del tipo y cantidad de maquinaria que se utilizará durante la producción, transporte, colocación, y compactación del material.

El Contratista mostrará al Ingeniero, como parte del proceso de aprobación del método constructivo, los materiales, proporción de mezclas, maquinaria, equipo y método de construcción que se proponen para el CBM4, mediante una construcción inicial en un área de prueba de por lo menos 400 m². El área de prueba será construida en 3 partes, cada una de 100 m² como mínimo. Después de haber colocado la primera parte, la segunda y tercera parte serán colocadas luego de dos días como mínimo. La segunda y tercera parte se colocarán de tal manera que incluyan lo siguiente:

- Una unión longitudinal y una transversal entre la parte colada previamente y la nueva tira paralela. Antes de colocar la nueva tira, se debe haber revisado el nivel, conformidad y compactación del borde de la tira colocada primero, y se deben haber recortado según sea necesario. El método de compactación de la nueva tira en donde empalma con la tira anterior debe haber sido detallado en el método constructivo y deberá ser aplicado en esta prueba. El método asegurará que el material CBM4 tendido previamente no sufrirá daños durante el afirmado de la nueva tira paralela.
- Una unión transversal entre el fin de una fila colocada previamente y el comienzo de la continuación de dicha fila. Antes de colocar la nueva capa de CBM4, el final de la capa de CBM4 anterior debe haber sido recortada al punto que quede provista d la densidad requerida y el nivel correcto. La prueba en esta junta será realizada según se describe en el Método Constructivo, con especial referencia a:
 - Determinar cuánto recortar la CBM4 anterior.
 - El método de rodamiento para asegurar una compactación adecuada de la nueva capa CBM4 colocado sin dañar la capa colocada anteriormente.
- La colocación de la capa CBM4 desde una junta transversal (por una segunda pavimentadora) comenzará una vez que la colocación de la capa CBM4 (por otra pavimentadora en el carril paralelo descrito anteriormente) haya alcanzado casi totalmente la ubicación de la junta transversal (lo cual es la producción final del día).

- Una junta longitudinal entre 2 nuevas capas adyacentes. Cuando ambas pavimentadoras continúen colocando líneas paralelas, ésta junta tendrá lugar. El método constructivo habrá detallado el modo de asegurar que todo el rodamiento sobre la junta (esto además en parte sobre la última capa de CBM4 colocada) se culmine en 2 horas permitidas para el rodamiento luego de que la colocación de la capa CBM4 en la primera línea esté lista.

Luego de culminar la colocación de prueba, el ingeniero tendrá un plazo de 10 días como mínimo para aprobar el método constructivo de pavimentación, el cual deberá incluir la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión en cubos a los 7 días, de las densidades alcanzadas y demás resultados.

iii. Requerimientos para la capa base tipo CBM4

La capa CBM4 será mezclada en una planta de procesamiento por lotes con total control de las cantidades de material incorporado en la mezcla. La mezcla proyectada se realizará de tal manera que cuando se agregue el agua habrá 2 horas disponibles para la mezcla, transporte, colocación y compactación del material.

El material CBM4 será colocado en una operación continua por una máquina pavimentadora. Dicha pavimentadora será provista con dispositivos apropiados que controlen al nivel, y con vibrador u otros medios para proveer la compactación inicial.

El contenido de humedad de la mezcla será determinada con la debida consideración de los requerimientos de resistencia, nivel de superficie, regularidad y acabado. Además, debe ser tal que luego de afirmar la compactación a por lo menos 95% del cubo, se alcance la densidad. Todo el rodamiento será completado en un periodo de 2 horas luego de agregar el agua a la mezcla.

La mínima resistencia a la compresión en cubos de 150 mm a los 7 días será:

- No menor a un promedio de 15 N/mm^2 (150 kg/cm^2) para cada grupo de 5
- No menor a 10 N/mm^2 (100 kg/cm^2) por cada cubo individual

iv. Material

El material CBM4 es una mezcla de agregado (roca triturada clasificada), cemento, agua y (si es necesario) aditivos. Por otro lado, el agregado mencionado puede reemplazarse por una mezcla de gravilla y áridos finos.

v. Clasificación de Agregados

El agregado utilizado para la preparación de la mezcla CBM4 deberá cumplir con cualquiera de las dos clasificaciones mostradas en el cuadro N° 4.04.

Cuadro N° 4.04 Clasificación Granulométrica de material CBM4

Tamiz ASTM	Tamiz BS	Porcentaje 40 mm nominal	Porcentaje 20 mm nominal
2"	50 mm	100	-
1 ½"	37.5 mm	95 – 100	100
¾"	20 mm	45 – 80	95 – 100
N° 4	5 mm	25 – 50	35 – 55
N° 30	600 micrón	8 – 30	10 – 35
N° 100	150 micrón	0 – 8	0 – 8
N° 200	75 micrón	0 – 5	0 – 5

Fuente: Informe del Diseño del Pavimento del Callao – Terminal de Contenedores del Callao – DP World

Por otro lado, el agregado para el material CBM4 podría ser:

- Afirmado en dos clasificaciones dentro de los límites de las mallas N° 4 – ¾" y las mallas ¾" – 1".
- Áridos finos dentro de los límites de las mallas N° 200 – N° 4.

• Propiedades Físicas de los Agregados

Los agregados para el material CBM4 deberán cumplir con los requerimientos de BS EN 12620. La pérdida máxima de peso en el Test de Los Ángeles no deberá exceder el 40%.

• Cemento y Agua

En cuanto al cemento y el agua para CBM4, se aplicarán los requerimientos del Concreto, especificados en la Norma Técnica E-060 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

vi. Diseño de mezcla de CBM4

Se efectuará el diseño de mezcla del suelo estabilizado con cemento, de manera que se obtenga una resistencia a la compresión de 150 kg/cm². El diseño de mezcla resultante deberá ser de óptima calidad, buena trabajabilidad y densidad. El diseño de mezcla se realizará en laboratorio y se desarrollarán pruebas de resistencia a la compresión.

vii. Transporte de CBM4

El método de transporte del material tipo CBM4 desde la planta de procesamiento por lotes hasta el emplazamiento, será detallado en el método constructivo. El transporte por medio de volquetes solo será permitido si ello no tiene efectos adversos en la mezcla y, si al descargar el volquete la mezcla no fluye libremente desde el volquete hacia las pavimentadoras.

viii. Colocación y Compactación

Dos o más pavimentadoras participarán en la operación de pavimentación. Antes de colocar el material CBM4 en el emplazamiento, un sistema controlador de altura será instalado a lo largo de la alineación. Las pavimentadoras nivelarán el material CBM4 a una profundidad controlada y uniforme.

La capacidad de la máquina mezcladora y la cantidad de camiones que se emplearán harán que la operación de pavimentación se desarrolle de manera continua. Cada capa será esparcida de tal manera que luego de la compactación el espesor total sea el indicado.

Se podría o no utilizar los moldes para construcción de los bordes de cada franja individual del pavimento. Si estos no se utilizan, el borde de la franja colocada previamente será recortado de manera que todos los puntos donde el control de nivel o la compactación fueran insuficientes serán removidos antes de que la franja adjunta sea colocada. Igualmente, si los modelos verticales son utilizados, el nivel o la compactación serán revisados. Si el nivel o compactación demostrarán ser insuficientes, el borde será recortado hasta obtener los correctos, y si estuvieran dentro de los requerimientos de la especificación, no se requerirá ninguna preparación adicional del borde.

La compactación inicial del material CBM4 se realizará mediante el vibrador en la máquina pavimentadora. Ello deberá ser inmediatamente seguido por la compactación mediante un rodillo vibrante cuyo peso y capacidad sea suficiente para producir la compactación requerida. Se dará especial cuidado para obtener una compactación completa en las uniones longitudinales y transversales. La compactación final deberá alcanzar el 100% del grado de compactación de la MDS del Próctor modificado.

Uniones entre las capas superiores e inferiores del material CBM4 serán alternadas por lo menos 5 m para permitir el control de nivel de la pavimentadora. Las juntas longitudinales serán alternadas por lo menos a 0.5 m.

ix. Secado

Inmediatamente después de que el exceso de agua superficial se evapore, se realizará el secado. Ello se hará de la siguiente manera:

- Revestimiento impermeable con uniones sobrepuestas en por lo menos 300 mm tendidos para evitar el egreso de la humedad.
- Recubrimiento bituminoso, solo aplicaba a la capa superior.
- Recubrimiento con un componente aprobado para el secado.
- Recubrimiento con una película plástica adecuado y aprobado, que será retirada antes de construir encima.

x. Restricciones del Tráfico

No se permitirá ningún tránsito en absoluto sobre superficie alguna de la base tipo CBM4 durante los primeros 7 días de colocación.

f) Pavimento de Adoquines de Concreto

i. Generalidades

El pavimento con adoquines de concreto incluye el suministro, pruebas, colocación y compactación o instalación de arena de asiento y bloques y bordillos de concreto, así como uniones con suficiente arena y agua.

ii. Asiento de Arena

• Materiales

El material de arena de asiento para la colocación de bloques de concreto puede ser arena sílica, roca fina triturada que puede ser elevada o no, u otro material aprobado. La arena de asiento deberá cumplir con la clasificación mostrada en el cuadro N° 4.05.

Cuadro N° 4.05 Clasificación de material para la capa de asiento

Tamiz ASTM	Tamaño de criba BS 410	Porcentaje que pasa %
3/8"	10.0 mm	100
N° 4	5.0 mm	90 - 100
N° 8	2.36 mm	75 - 100
N° 20	1.18 mm	55 - 59
N° 30	600 micrones	35 - 59
N° 50	300 micrones	8 - 30
N° 100	150 micrones	0 - 10
N° 200	75 micrones	0 - 3

Fuente: Informe del Diseño del Pavimento del Callao – Terminal de Contenedores del Callao – DP World

No deberá de contener más del 3% por peso de arcilla y limo, y los materiales deberán estar libres de sales nocivas o contaminantes.

• Contenido de humedad

El contenido de humedad en la arena de asiento deberá ser lo más uniforme posible y estar en óptimas condiciones. Cuando el material se vaya a almacenar deberá ser cubierto.

• Nivelado del Asiento de Arena

El requerimiento del diseño para el asiento de arena es que, luego de la compactación, forme una capa uniforme, de 30 mm de espesor nominal, debajo de los bloques. Sin embargo, estos 30 mm no darán la pauta para la colocación o aprobación del asiento de arena. El espesor del asiento de arena debe ser tal que luego de colocar y compactar los bloques de concreto la parte superior del

pavimento cumpla con los requisitos y éste dentro de las tolerancias permitidas del nivel de pavimento acabado.

El asiento de arena será acabado de acuerdo con alguno de los métodos siguientes:

- El material será esparcido y nivelado entre rieles guía en una capa uniforme de espesor tal que el nivel final de los bloques de concreto esté dentro de las tolerancias requeridas luego de la compactación.
- El material será esparcido de manera suelta en una capa no compactada por medio de un vibrador de lámina. Una capa adicional de material suelto será esparcida y nivelada entre los rieles guía para crear una superficie holgada en la cual colocarán los bloques.

Antes de hacer cualquier pavimento de bloques permanentes, el Contratista preparará un área de prueba de la construcción completa de la colocación de arena de asiento, de la colocación y compactación de los bloques y del relleno de las juntas entre los mismos. En esta prueba, se determinará el espesor del material del asiento holgado que se requiere para producir el nivel correcto del pavimento.

Se dará especial cuidado para evitar alguna distorsión localizada durante la colocación de la capa por motivos de tráfico peatonal o vehicular previo a la instalación de los bloques.

El área de asiento de arena se preparará de tal manera que la posición de sus límites no sea mayor a 1 m de la posición de la cara inferior de los bloques de concreto al final del periodo de trabajo.

iii. Obras de pavimentación de adoquines de concreto

• Requerimientos para adoquines de concreto

Los adoquines de concreto prefabricados serán rectangulares, 200 mm por 100 mm por 80 mm de espesor, con bordes superiores achaflanados y deberán cumplir con los requerimientos de la Norma Técnica Peruana NTP 339 611 2003. Las especificaciones técnicas de los adoquines se adjuntan en el Anexo C.

Los bloques de concreto para el pavimento serán elaborados en un solo tipo de concreto, no se requiere una fachada diferente en cada apoyo.

Los requerimientos específicos para los adoquines de concreto son:

- Los bloques deberán estar provistos con distanciadores de 2 mm a lo largo de las caras verticales.
- Las tolerancias de los bloques manufacturados con las dimensiones del diseño y excluyendo los distanciadores será de:
 - Longitud y ancho ± 2 mm.
 - Espesor ± 3 mm.
- La resistencia media al corte no será menor a 3 MPa, ningún resultado individual será menor a 2 MPa.

No se permitirá usar ningún agregado calizo en la elaboración de los bloques; sólo se usarán aditivos aprobados por el Ingeniero, además, dichos bloques deberán ser de color natural y uniforme. A este punto, el tipo de agregados y cemento que se usará, cuando sean aprobados, no cambiará el tiempo de elaboración de los adoquines.

Si los adoquines de concreto se elaborarán en el emplazamiento, el Contratista someterá su método constructivo a la aprobación del Ingeniero. Antes de comenzar la producción de adoquines, el Contratista presentará al Ingeniero las muestras de la producción de los adoquines, y el Ingeniero seleccionará los CPB aprobados en presencia del Contratista. El adoquín de concreto aprobado se mantendrá como referencia de la aceptación de todos los grupos de aprovisionamiento de adoquines de concreto.

La aprobación de los adoquines o bloques de concreto se llevará a cabo en dos pasos:

1. Inspección visual según la forma y suavidad de la superficie de los CPB.
2. Prueba de cumplimiento con los requerimientos en tolerancias, resistencias del corte y desgaste.

El Contratista quedará satisfecho comprobando que, al momento de elaboración o envío, los adoquines cumplen con los requerimientos de especificación y, en

caso de provisión, enviará al Ingeniero certificados del fabricante para ese efecto indicado la frecuencia de las pruebas.

- **Pavimentación de Adoquines de concreto**

Los bloques de concreto serán tendidos diagonalmente a través de la dirección del flujo general del tráfico (45 grados de la línea del muelle), trabajando desde un borde existente. Si es necesario, se pueden incluir formas de bloques diseñados para asistir con los cambios de dirección, como corresponda.

Primero se colocarán bloques completos, y luego se colocarán las unidades de cierre. El área que se pavimentará deberá estar terminada en lo posible con unidades de bloques completos. Cuando sea posible, el relleno de límites y obstrucciones procederá como lo hace la colocación de los bloques y, en cualquier caso, el relleno será completado antes de que comience la compactación.

El Contratista seguirá estrictamente la secuencia diaria de pavimentación. El progreso diario será aprobado al término del día de trabajo y bajo ninguna circunstancia el Contratista será facultado para iniciar nuevos trabajos de pavimentación salvo que el Ingeniero que el Ingeniero haya aprobado y aceptado el pavimento instalado el día anterior.

- **Recorte**

Los bloques serán recortados a las formas y dimensiones para trabajar sobre cualquier obstáculo o a lo largo de los márgenes. Cuando sea necesario recortar bloques, se deberán evita proporciones más pequeñas que un cuarto de bloque completo.

- **Compactación del pavimento de adoquines de concreto**

La superficie será compactada por medio de un compactador de plato con un área plana de por lo menos 0.25 m². El compactador transmitirá una fuerza de 75-100 KN/m² de área plato; la frecuencia de la vibración deberá oscilar entre 75-100 Hz.

La compactación deberá darse lo antes posible después de la colocación de los bloques, pero no se obtendrá a menos de 1 m de la cara inferior. Además de esta franja de borde, ninguna área de pavimentación deberá quedarse sin compactar al final del día de trabajo.

La comprobación final y relleno con arena será culminados lo más pronto posible luego de la colocación y en cualquier caso, previo al término del día de trabajo.

- **Pruebas de adoquines de concreto**

Los adoquines de concreto para el pavimento sólo se aceptarán si son despachados con su forma original del molde de fabricación. Bajo ninguna circunstancia se aceptarán adoquines de concreto reformados.

Todos los grupos de adoquines rechazados serán marcados con un tinte de color luminoso que permita la rápida identificación.

En el laboratorio del emplazamiento del Contratista incluirá todos los equipos requeridos para las pruebas, resistencia a los cortes y el desgaste de los adoquines.

- **Restricciones de los bloques de concreto**

La restricción de los bordes para el pavimento de bloques de concreto será alguna de las siguientes:

- Las caras verticales de concreto de las nuevas construcciones en el muelle y pared de retorno.
- Las caras verticales de las paredes limítrofes existentes o de las nuevas barreras que se construirán
- El borde de la nueva capa de concreto asfáltico que se construirá en la entrada del proyecto.
- El borde del pavimento ligero en el área de oficinas.
- Los bordillos de concreto que se realizarán en las obras.

iv. Arena de Unión

- **Material**

La arena de unión podría incluir arena sílice o roca fina triturada que puede ser elevada o no, u otros materiales aprobados por el Ingeniero.

El material granulado para la arena de unión deberá cumplir con la clasificación del cuadro N° 4.06.

Cuadro N° 4.06 Clasificación de arena de unión

Tamaño tamiz ASTM	Tamaño tamiz	Porcentaje que pasa %
		Tamaño Máximo Nominal
N° 4	5.0 mm	100
N° 8	2.36 mm	95 - 100
N° 20	1.18 mm	90 - 100
N° 30	600 micrones	55 - 100
N° 50	300 micrones	15 - 50
N° 100	150 micrones	0 - 15
N° 200	75 micrones	0 - 3

Fuente: Informe del Diseño del Pavimento del Callao – Terminal de Contenedores del Callao – DP World

Deberá contener menos de 3% por peso de arcilla y limo, los materiales deberán estar libres de sales nocivas o contaminantes.

- **Contenido de humedad**

La arena de unión deberá estar totalmente libre de humedad. Cuando el material sea almacenado, éste deberá ser cubierto. El contenido de humedad será determinado con el 13 o Test 14 Bs 1377:1990 a discreción del Ingeniero.

- **Dispersión de arena de unión**

Luego de compactar el pavimento de bloques de concreto, se deberá dispersar la arena de unión aprobado sobre la superficie y colocado hacia dentro de las uniones. El área de pavimentos en bloques de concreto será por lo tanto sometida a una ligera vibración que ocasionará que la arena de unión se asiente en las uniones entre los bloques de concreto. La colocación, cepillado y posterior

vibración de la arena continuará hasta que todas las uniones de los bloques se rellenen apropiadamente a la satisfacción de Ingeniero.

4.3. INSPECCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD

En general, los controles deben estructurarse en forma continua y sistemática para cada una de las etapas de la construcción. Tanto la frecuencia, como la oportunidad y el método a emplear para la forma de muestras deben estipularse en las especificaciones. Asimismo, para establecer los requisitos de calidad, debe tenerse muy en cuenta la magnitud de la obra, de acuerdo a la cual se podrá pedir el cumplimiento de todos o sólo de algunos de los controles y verificaciones que se detallan a continuación.

4.3.1. Control de calidad y tolerancias de capas inferiores

a) Rellenos

i. Taludes

Los taludes de los terraplenes tendrán una inclinación uniforme, la que en general será de 3:2 (H.V.), salvo indicación distinta en el proyecto. El ancho ajustará a las dimensiones establecidas en los perfiles tipo del proyecto. No obstante, se podrá aceptar un sobre ancho de hasta 0,15 m respecto a la línea teórica de talud, medido perpendicularmente al plano de éste. Estos taludes se realizarán a lo largo del perímetro posterior del patio de almacenamiento de contenedores, para evitar deslizamientos de las dunas de arena formadas en esa zona.

ii. Responsabilidad por la estabilidad de los terraplenes

El contratista será responsable por la estabilidad de los terraplenes y deberá efectuar, a su cargo, los trabajos que sean necesarios para reponer total o parcialmente aquellos que hubieren quedado mal contruidos o que resultaren dañados por descuido, negligencia o por no haberse tomado las debidas precauciones. La reparación de daños producidos por aguas lluvia, será de exclusivo cargo del contratista.

iii. Control de compactación

La aceptación del grado de compactación de los terraplenes construidos con material de cualquier naturaleza, excepto roca, se basará en la medición de las densidades de terreno, determinadas según los métodos de densidad de campo mediante el ensayo de cono de arena u otro método que se especifique. Se aceptará la compactación del terraplén, siempre y cuando ésta iguale o supere los valores mínimos especificados.

iv. Control de uniformidad

Cuando lo especifique el proyecto, además de los controles topográficos y de compactación, se hará la prueba de uniformidad de soporte sobre las superficies que se indiquen.

El control se hará mediante el paso de un rodillo de cuatro ruedas montadas en un eje, de mínimo 60 toneladas de peso total sobre él y mínimo 0,79 MPa de presión de inflado.

Las superficies a controlar deberán haber sido previamente recibidas por topografía y compactación.

El rodillo se pasará una sola vez a una velocidad máxima de 5 km/h cubriendo toda la superficie, sin traslapes, y en toda su longitud a controlar, excepto sobre las obras de arte u otras estructuras cuya clave esté a menos de 0,75 m de la superficie bajo control; en tales casos se deberá descargar y luego cargar nuevamente el lastre, o bien construir rampas adecuadas sobre dichas estructuras.

Se entenderá que la superficie controlada está uniformemente construida si después de pasado el rodillo no quedan huellas a simple vista sobre ellas.

b) Preparación de la sub rasante

El control de compactación se realizará en todo el ancho de la plataforma a nivel de la sub rasante en sectores de corte y, hasta 150 mm de los bordes exteriores de la plataforma a nivel de sub rasante, en sectores de terraplén. En este último

caso, la exigencia de compactación como mínimo 95% de la M.D.S., determinadas según los métodos LNV 95 ó LNV 96, respectivamente.

c) Sub bases granulares

i. Terminaciones

Una vez terminada la compactación y perfiladura de la sub base, ajustándose a los perfiles longitudinales y transversales del proyecto, ésta deberá presentar una superficie de aspecto uniforme y sin variaciones en cota en ningún lugar, mayores que + 0.0 cm y – 2,5 cm para sub bases de poder de soporte igual a 40% de CBR.

No obstante que se aceptarán las tolerancias de terminación señaladas para sub bases de $CBR \geq 40\%$ bajo pavimentos rígidos, el contratista tomará todas las precauciones necesarias para cumplir con el mínimo espesor, lisura y demás requerimientos del pavimento de hormigón. Las deficiencias en cota con respecto a las establecidas en el proyecto, serán superadas por cuenta del contratista con material de la capa superior a construir sobre la sub base.

Si se detectasen áreas a un nivel inferior a la tolerancia especificada, éstas deberán especificarse en un espesor mínimo de 0,10 m para en seguida agregar material, regar, re compactar y terminar la superficie hasta dar cumplimiento a lo establecido en el párrafo anterior. Las áreas a un nivel superior a la tolerancia especificada, serán rebajadas, regadas y compactadas nuevamente hasta cumplir con lo establecido. La densidad deberá alcanzar como mínimo el 98% de la MDS del Próctor.

ii. Control de uniformidad

Se utiliza el mismo procedimiento utilizado para el caso de terraplenes (control de uniformidad).

d) Bases granulares tratadas con cemento

i. Compactación y terminación de la superficie

Tan pronto como termine las operaciones de compactación, se procederá a controlar el espesor, y el grado de compactación alcanzado mediante el método LNV 19 ó LNV 62. La densidad deberá alcanzar como mínimo el 100% de la MDS (Máxima densidad Seca) del Próctor modificado. El nivel de compactación se determinará, en general, con una muestra cada 50 m cuando el material cubra dos vías de camino y cada 75 m cuando cubra sólo una.

La superficie terminada se deberá mantener humedecida hasta la faena de curado y no variará en ningún punto en más de 1,5 cm sobre o por debajo de las cotas establecidas en el proyecto, exceptuando cuando la estructura a construir sobre las bases o granulares tratados con cemento sea pavimento de concreto.

En este último caso, no se aceptará que ningún punto de la superficie terminada exceda las cotas establecidas en el proyecto. Cualquier daño producido a las bases o granulares tratados con cemento, por efecto de congelamiento, precipitaciones u otras condiciones climáticas adversas, deberá ser reparado inmediatamente.

4.3.2. Superficie de rodadura de adoquines de concreto

a) Fabricación

i. Norma Técnica Peruana

Se fabrican cumpliendo las prescripciones nacionales determinadas por la Norma Técnica Peruana NTP 339 611 2003 que establece los requisitos que deben cumplir los adoquines de concreto para la construcción de los pavimentos.

ii. Moldes

Los moldes deben ser metálicos, rígidos, rectos, sin torceduras, con bordes formando ángulos rectos y de altura igual al espesor del adoquín, para el caso de adoquines hexagonales, estas condiciones son para base del molde, y el collarín adicional, excepto la altura de este que tiene una relación 1/3 (L12) y

1/4,5(L17), para la vibro compresión. La cantidad de moldes debe ser adecuada para el avance diario programado.

b) Materiales: El árido y el cemento

Los materiales usados en su fabricación son los áridos limpios y como aglomerante se usa el Cemento Pórtland tipo II.

i. El árido

Materiales no aglomerantes, tales como la arena, la gravilla y la piedra triturada, totalmente limpios libres de impureza orgánica y salitrosas.

El diseño de la mezcla de áridos, son consecuencia de las diferentes metodologías existentes analítica: matriz de interrelación matemática (programas) y gráficas geométricas: triangulo y cuadrado, análogas a la forma de diseño de mezclas estabilizadas mecánicamente, de tal manera que cumplan con los requerimientos de las Normas Técnicas Peruanas.

ii. El Cemento

Material aglomerante que cumple con las Especificaciones Técnicas Internacionales ASTM , ACI y Las Normas Técnicas Peruanas , en el caso específico de los adoquines, se han obtenido excelentes resultados experimentales realizados en el Cemento (Plus de Resistencia Cilíndrica a los 40 días) es el TIPO IPM : ASTM – C-595 – 03, NTP 334-090.2001 que contiene no más de 15 % de Puzolana en la masa de Cemento, de uso específico para construcciones generales de concreto y para el caso de zonas de suelos salitrosos(de 1500 – 10000 p.p.m. de sulfatos) el TIPO V:ASTM – C-150, NTP 334.009.

En general todos ellos deberán cumplir la Norma Técnica correspondiente, para cada condición de uso.

iii. Producto

Estas piezas de pavimento prefabricados, con los materiales anteriormente descritos dan como producto los adoquines de concreto que deben cumplir con

varios requisitos geométricos y de resistencia, como: muestreo, forma, dimensiones, color, textura y resistencia a varios esfuerzos.

c) Adoquines de concreto

i. Muestreo

Una " Muestra Normal" de una producción automatizada, consistirá en 10 adoquines enteros, por cada 15000 adoquines o fracción de esa cantidad, muestreados al azar preferentemente, en la Planta que los fabricó, y ensayándolos antes de su embarque a la obra. En el caso de la producción artesanal, la "Muestra Normal" será de 3 adoquines enteros, por cada 3000 unidades.

ii. Forma

Los adoquines pueden ser de cualquier forma, pero conviene que su figura no tenga cambios bruscos. Las formas más usuales son las rectangulares, las cuadradas, las tipo paletas, las tipo delta (trihexagono), las tipo Londres (hoja de sierra), las tipo hueso (mancuerna), las tipo cruz y en los machihembrados los hexagonales.

iii. Dimensiones

Las dimensiones del adoquín varían de acuerdo a su figura geométrica, pero la figura más representativa es la del rectángulo cuyos valores que proporcionamos son valores sólo indicativos de uso normal:

- Espesor de 40 a 100 mm (+-2 mm)
- Ancho 60 a 125 mm (+-2 mm)
- Largo máximo 220 mm (+-2 mm)

iv. Color

Los colores de los adoquines son muy variables, de múltiples pigmentaciones y combinaciones, todas ellas pueden usarse, siempre y cuando el aditivo colorante no altere las propiedades del concreto. Es conveniente señalar que, en calles con mucho tránsito, el adoquín termina en un color negruzco por el frotamiento de los neumáticos.

v. Textura

La textura de los adoquines debe ser fina, para ser impermeables. El agregado usado en los adoquines tipo Paver's, debe ser fino, con algo de material retenido en la malla N° 4. Generalmente las arenas, con algo de gravilla, son el agregado adecuado.

vi. Resistencias

• Resistencia al desgaste

Los adoquines deberán tener una adecuada resistencia al desgaste, la cual se logra al usar un agregado adecuado y una dosificación con cemento Portland en buena cantidad. El resultado de cualquier prueba mecanizada, práctica y confiable, no debe desgastar el adoquín más de 3 mm.

• Resistencia a la flexión

En los adoquines, igual que en las losas de concreto de pavimentos, el esfuerzo crítico es el de flexión. Por lo tanto, lo más conveniente es especificar una resistencia a la flexión, o módulo de ruptura.

El valor de módulo de ruptura mínimo, determinado en un adoquín entero, rectangular o cortado con disco de diamante, es de 45 kg/cm².

Este MR es aproximadamente un 15% de la resistencia a la compresión determinada como sigue:

• Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión de los adoquines debe ser de 380 kg/cm², determinada en probetas cúbicas, obtenidas cortando las mitades de la prueba de flexión, o de un adoquín entero. Las dimensiones del cubo (o probeta sensiblemente cúbica) deben ser de un espesor igual al del adoquín, a través del cual se aplicará la carga de compresión, y un ancho y largo que no difiera mucho de ese espesor.

En el caso de los adoquines de concreto, se ha adoptado determinar su resistencia a la compresión, utilizando las mini probetas cilíndricas de ensayo de

3"x 6", de tal manera que permitan su vibro compresión, en condiciones similares de fabricación del adoquín.

4.4. ASPECTOS AMBIENTALES

El presente proyecto no presentará impactos ambientales adversos de gran magnitud, que pudieran poner en riesgo la salud de las personas o el medio ambiente, sino por el contrario, se espera satisfacer una demanda de comodidad, ornato y seguridad. La zona donde se efectuarán los trabajos es una zona portuaria y de viviendas.

4.4.1. Objetivos de la Evaluación Ambiental

- Identificar, predecir y evaluar los impactos ambientales potenciales directos e indirectos, que la obra pueda ocasionar en los diversos componentes del medio ambiente del área de influencia ambiental.
- Establecer las correspondientes medidas de mitigación para atenuar o anular los impactos identificados y sus respectivos costos de implementación.
- Establecer medidas ambientales específicas a ser incluidas en los diseños de ingeniería.
- Preparar un Plan de Manejo Ambiental que contenga las medidas adecuadas para evitar y/o mitigar los impactos negativos directos e indirectos.

4.4.2. Impactos Ambientales durante la etapa de construcción

Los impactos generados en esta etapa son:

- Disminución de la actividad comercial por una menor afluencia de público
- Emisión de material particulado y polvo
- Generación de Residuos Sólidos
- Incremento de los niveles de ruido
- Incremento en los niveles de accidentes
- Impacto visual
- Dificultades del tránsito provocado por los trabajos.

4.4.3. Impactos Ambientales durante la etapa de operación

Los impactos generados en esta etapa son:

- Incremento de la actividad económica del terminal portuario de Salaverry por una mayor afluencia de contenedores al puerto de Salaverry.
- Incremento del valor de las inmuebles, potenciando el desarrollo del comercio en general, mejorando la economía y la generación de nuevos empleos.

4.4.4. Medidas Ambientales en Explotación de Canteras y Zonas de Préstamo

Consiste en la aplicación de las medidas ambientales y las recomendaciones en la explotación de canteras y zonas de préstamo, las cuales deberán estar contenidas en un Expediente Técnico que considere las autorizaciones y permisos que correspondan, los aspectos de preparación del terreno, las condiciones de explotación, operación de los equipos y condiciones finales de la zona al finalizar los trabajos.

El objetivo es evitar ocasionar impactos negativos a las personas que habitan cerca de la cantera o zona de préstamo, que las fuentes y corrientes de agua, así como el aire y la tierra, se contaminen con ocasión de los trabajos a ejecutar. Asimismo, se deben evitar deslizamientos o desplazamientos del terreno en los mencionados lugares.

Durante la ejecución de los trabajos, se debe inspeccionar permanentemente las canteras y zonas de préstamo, con el fin mitigar impactos ambientales negativos a causa de su explotación y se debe atender, en lo que corresponda, con lo establecido en las Secciones 906 y 907 de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2000.

4.4.5. Medidas Ambientales en Depósito de Excedentes

Consiste en la aplicación de medidas ambientales y de recomendaciones en los sitios que se han seleccionado y definido para el depósito de excedentes.

El objetivo es evitar que las fuentes y corrientes de agua, así como el aire y la tierra, se contaminen con materiales de depósito de excedentes, aplicando, con tal propósito, medidas preventivas y/o correctivas para conservar el entorno ambiental. Asimismo, se busca evitar deslizamientos de materiales en los mencionados lugares.

Durante la ejecución de los trabajos, se debe inspeccionar permanentemente los depósitos de excedentes con el fin de mitigar impactos ambientales negativos a causa de su utilización.

4.5. COSTOS Y PRESUPUESTOS

El presupuesto referencial de la obra asciende a la suma de US\$ 6'005,734.71 (seis millones cinco mil setecientos treinta y cuatro y 71/100 dólares americanos), con precios referenciales al mes de enero del 2011. A continuación se presenta el presupuesto base de la obra, para el proyecto de construcción del nuevo patio de almacenamiento de contenedores.

PRESUPUESTO DE OBRA

Obra : PAVIMENTACIÓN DEL NUEVO PATIO DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES
Cliente : PUERTO DE SALAVERRY
Departamento : LA LIBERTAD
Moneda : Dólares Americanos US\$

Item	Descripción	Und	Metrado	Precio US\$	Total US\$
01.00	<u>OBRAS PROVISIONALES</u>				
01.01	Caseta provisional para guardianía y almacén	glb	1.00	8,231.85	8,231.85
01.02	Servicios higiénicos	glb	1.00	328.59	328.59
02.00	<u>OBRAS PRELIMINARES</u>				
02.01	Movilización y desmovilización de equipos	glb	1.00	18,156.05	18,156.05
02.02	Demolición de pavimentos y muros existentes	m3	1,236.44	39.78	49,185.58
02.03	Nivelación, Trazo, replanteo y control topográfico	m2	60,000.00	1.55	93,000.00
03.00	<u>MOVIMIENTO DE TIERRAS</u>				
03.01	Excavación Masiva y Corte de talud en arena c/equipo (Incl. Perfilado y Acarreo)	m3	58,918.85	1.58	93,091.78
03.02	Excavación de zanja hasta sub base c/equipo en Terreno Normal (Incl. Perfilado y Acarreo)	m3	57,600.00	7.39	425,664.00
03.03	Eliminación de materiales excedentes D= 15 kms	m3	139,822.62	5.90	824,953.46
03.04	Nivelación y compactación del terreno con equipo liviano	m3	236,907.14	2.83	670,447.22
04.00	<u>PAVIMENTO DE BLOQUES DE CONCRETO</u>				
04.01	Sub rasante mejorada con afirmado, CBR = 30%, e = 0.15 m (incluye suministro, colocación y compactación)	m3	9,000.00	23.85	214,650.00
04.02	Sub base de material granular, CBR = 20%, e = 0.15 m (incluye suministro, colocación y compactación)	m3	9,000.00	25.95	233,550.00
04.03	Suelo granular tipo CBM4, f _c = 150 Kg/cm ² , e = 0.55 m (incluye suministro, colocación y compactación)	m3	33,000.00	38.10	1,257,300.00
04.04	Cama de arena, e = 0.03 m (incluye suministro y colocación)	m2	60,000.00	2.24	134,400.00
04.05	Adoquines de concreto de 200x100x80 mm (incluye suministro y colocación)	m2	60,000.00	18.05	1,083,000.00
Costo Directo					5,105,958.53
Gastos Generales (15%)					765,893.78
Utilidad (10%)					510,595.85
Sub Total					6,382,448.16
IGV (19%)					1,212,665.15
TOTAL PRESUPUESTO US\$					7,595,113.31

4.6. PROGRAMACIÓN

El plazo de ejecución de la obra es de 154 días La programación de la construcción del patio de almacenamiento de contenedores se adjunta en el Anexo E.

4.7. PLANOS

Los planos de distribución en planta del patio de almacenamiento de contenedores y el plano de la sección del pavimento diseñado se adjuntan el Anexo D.

CONCLUSIONES

- La ejecución del proyecto conforme se plantea insertará 60,000 m² (6 hectáreas) del área rural al área del casco urbano, generándose un incremento sustancial del valor predial del terreno.
- Se escogió utilizar para el manipuleo de los contenedores con carga el equipo tipo cargador frontal (Stacker) en lugar de utilizar grúa pórtico de patio (RTG), a pesar de que este equipo requiere mayor área (7,000 m², según análisis), puesto que es de menor costo, de inmediata adquisición e instalación y fácil mantenimiento; generándose un ahorro de 1'800,000 dólares USA.
- Se generan nuevos puestos de trabajo, tanto en personal administrativo, personal técnico y mano de obra no calificada (estibadores de puerto), generando desarrollo directo en el distrito de Salaverry, contribuyendo a la reducción de la pobreza del mismo.
- El proyecto facilitará el desarrollo de la zona norte – centro, con la posible conexión a la carretera interoceánica del norte (actualmente en ejecución en algunos tramos); salida de la carretera proyectada por el departamento de Ancash, haciendo innecesario el traslado de mercaderías hacia el Puerto del Callao, descentralizándolo y generando recursos que se quedarán en dicha zona.
- Este proyecto es de impacto ambiental moderado, por ser compatible con el desarrollo de la zona sin afectar ni destruir el ecosistema.
- Es un proyecto de servicios que genera sus propios recursos por la utilización de los espacios de almacenaje y manipuleo de mercancías, lo que hace que el proyecto sea autosostenible y, además, genera un incremento sustancial de los recaudos fiscales y municipales por el mayor ingreso y tránsito de mercancías.

RECOMENDACIONES

- Se deberá tener un equipo de control y seguridad industrial que en todo momento aplicará las normas y reglamentos existentes; así mismo, se usará la indumentaria adecuada y los equipos de seguridad normados.
- Se deberá tener un control minucioso del abastecimiento y calidad de los materiales en los tiempos programados conforme al calendario de actividades de obra aprobado.
- Las valorizaciones de los avances de obra serán quincenales para facilitar el cumplimiento oportuno de las tareas programadas conforma al calendario.
- El proyecto deberá consignar un mejoramiento de obra comunal, como contrapartida al impacto ambiental; con la finalidad de mantener la buena relación con la comunidad de la zona.
- En lo posible la mano de obra no calificada e incluso la calificada deberá ser preferentemente de la zona, para generar desarrollo y aliviar la pobreza de la comunidad de Salaverry.
- Los equipos a usarse deberán ser de una antigüedad no mayor de seis años, para garantizar la operatividad de los mismos y el cumplimiento de la obra.
- El abastecimiento de los recursos financieros deberá ser programado conforme al calendario de obra.
- Se deberá contar con especialistas técnicos para realizar los procesos constructivos de cada etapa de la obra, de tal manera que se obtenga un producto de calidad y de acuerdo a lo indicado en las especificaciones técnicas.
- Realizar ensayos y pruebas de control de calidad de los materiales que serán utilizados en la construcción de cada una de las capas del pavimento del patio de contenedores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] American Concrete Pavement Association. "Pavimentos de Concreto: Diseño y Construcción, Juntas, Sobre carpetas, Apertura rápida al tráfico". IMCYC: American Concrete Pavement Association, México, 1995.
- [2] Canny Romero, Manuel. "Concreto reforzado con fibras metálicas. Aplicación en losas de pavimentos rígidos". Lima, 2003.
- [3] Coronado Iturbide, Jorge. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, Secretaría de Integración Económica Centroamericana. "Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos". USAID/SIECA, Guatemala, Noviembre, 2002.
- [4] IDIEM, Dirección de Obras Portuarias, Dirección de Obras Públicas. "Manual de Diseño de Pavimentos para Puertos Chilenos". IDIEM, Chile, Septiembre, 1999.
- [5] Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. "Recomendaciones para la construcción de pavimentos y bases de concreto". Limusa, México, 1983.
- [6] Instituto para el Desarrollo de los Pavimentos en el Perú. "La Nueva Guía para el Diseño Empírico - Mecanístico de Pavimentos: Aspectos Básicos". IDPP, Lima, 2005.
- [7] KNapton, John. "Diseño Estructural para Pavimentos de Alto Tránsito en Puertos y Zonas Industriales" (The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries). Interpave, 4ta. Edición, Reino Unido, 2007.
- [8] Laguros Joakim G., Miller Gerald A., National Research Council, Transportation Research Board. "Stabilization of existing Subgrades to improve Constructibility during interstate Pavement Reconstrucion". National Academy Press, Washington, D.C., 1997.
- [9] Marí Sagarra R., De Souza Adalmir J., Martín Mollofre J., Rodrigo de Larrucea J. "El Transporte de Contenedores: Terminales, Operatividad y Causística". Ediciones UPC – Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2003.
- [10] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Diseño geométrico de Carreteras (DG-2001).

- [11] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. "Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma CE.010, pavimentos urbanos". Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, SENCICO, Perú, Lima, 2010.
- [12] Mora Quiñones, Samuel. "Pavimentos Adoquinados". Documento en formato PDF, Lima, 2006.
- [13] MTC, Ministerio de Transportes y Comunicaciones. "Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito". MTC, Perú, Abril, 2008.
- [14] National Research Council. Transportation Research Board. "Maintenance of highway pavements and structures". National Academy Press, Washington, D.C., 1997.
- [15] Salazar Rodríguez, Aurelio. "Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos". IMCYC, México, 1998.
- [16] Wikipedia. [http://es.wikipedia.org/wiki/Licuefacci%C3%B3n del suelo](http://es.wikipedia.org/wiki/Licuefacci%C3%B3n_del_suelo). Página web de Wikipedia, Noviembre, 2010.

ANEXOS

ANEXO A: Cuadros para el diseño de pavimentos portuarios

ANEXO B: Gráficos y Ábacos de diseño para pavimentos portuarios

ANEXO C: Catálogos de equipos y Especificaciones Técnicas de materiales

ANEXO D: Planos de detalle del pavimento portuario

ANEXO E: Cronograma de ejecución de obra

ANEXO F: Análisis de Precios Unitarios

A.1. CUADROS DE CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS Y PROPIEDADES DE MATERIALES DE DISEÑO

Cuadro N° 01 - Cargas y presiones de los equipos de manipulación en las peores condiciones de trabajo

EQUIPO DE MANIPULACIÓN	Carga máxima punto de apoyo (KN)	Máxima presión de contacto (MPa)
Pórtico de almacenamiento (transtainers)	450	1.1
Grúa a horcajadas (straddle carriers)	130	1.1
Cargador frontal de 5 t (front lift trucks)	30	0.8
Cargador frontal de 20 t (front lift trucks)	110	0.7
Cargador frontal de 40 t (front lift trucks)	220	0.6
Cargador lateral (side loader lift trucks)	230	0.6
Grúa automóvil de 10 t (mobile cranes)	150	0.4
Grúa automóvil de 30 t (mobile cranes)	400	0.9
Grúa automóvil de 50 t (mobile cranes)	550	1.3
Grúa automóvil de 70 t (mobile cranes)	750	1.8
Grúa automóvil de 140 t (mobile cranes)	1100	2.6
Tractor más semirremolque de 40 t (roll-trailers)	35	2.2
Tractor más semirremolque de 80 t (roll-trailers)	70	2.2
Grúa pórtico (portal cranes)	*	*
Grúa portacontenedores (portainers)	*	*

* Las cargas que transmiten no actúan sobre los pavimentos, pues su circulación está restringida sobre rieles que a su vez se disponen sobre vigas o pilotes.

Fuente: Perfil del Embarque y Desembarque de Contenedores del Terminal Portuario de Salaverry

Cuadro N° 02 - Propiedades de los materiales para ábacos de diseño

Capa	Módulo Elástico, E (MPa)	Módulo de Poisson
Adoquines de concreto – Asfalto	4.000	0.15
Base (Concreto C _{8/10})	35.000	0.15
Subbase	300	0.20
Coronación o capa de nivelación	150	0.25
Subrasante	10 x CBR	0.25

Fuente: The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries

Manual de Diseño para Pavimentos para Puertos Chilenos

A.2. CUADROS DE DISEÑO PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

Cuadro N° 03 - Área requerida por contenedor según equipo de manipuleo

Equipo	Altura de apilamiento	Área por FEU (m2)
Trailer	1	60
Fork lift	1	80
	2	40
	3	27
	⋮	⋮
	7	11.5
Straddle carrier	1	30
	2	15
	3	10
Grúa pórtico RTG	2	15
	3	10
	4	7.5
	5	6
Reach stacker	2	15
	3	10
	4	7.5

*Fuente: Port Development – A Handbook for Planners in Developing Countries
El Transporte de Contenedores – Terminales, Operatividad y Causística*

A.3. CUADROS DE DISEÑO PARA EL CÁLCULO DEL PAVIMENTO DEL PATIO DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

Cuadro N° 04 - Factor de reducción de carga de contenedores

Altura de apilamiento	Factor de reducción de peso bruto (%)	Presión de contacto (N/mm ²)
1	0	2.59
2	10	4.67
3	20	6.23
4	30	7.27
5	40	7.78
6	40	9.33
7	40	10.9
8	40	12.5

Fuente: *The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries*
Manual de Diseño para Pavimentos para Puertos Chilenos

Cuadro N° 05 - Factores de carga dinámica expresados en porcentajes de incremento de cargas estáticas

Condition	Plant Type	fd
Braking	Reach Stacker/Front Lift Truck	±30%
	Straddle Carrier	±50%
	Side Lift Truck	±20%
	Tractor and Trailer	±10%
	Rubber Tyred Gantry Crane (RTG)*	±10%
Cornering	Reach Stacker/Front Lift Truck	40%
	Straddle Carrier	60%
	Side Lift Truck	30%
	Tractor and Trailer	30%
	Rubber Tyred Gantry Crane (RTG)*	zero
Acceleration	Reach Stacker/Front Lift Truck	10%
	Straddle Carrier	10%
	Side Lift Truck	10%
	Tractor and Trailer	10%
	Rubber Tyred Gantry Crane (RTG)*	±5%
Uneven Surface	Reach Stacker/Front Lift Truck	20%
	Straddle Carrier	20%
	Side Lift Truck	20%
	Tractor and Trailer	20%
	Rubber Tyred Gantry Crane (RTG)*	±10%

Fuente: *The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries*

Cuadro N° 06 - Factores de proximidad de ruedas

Wheel Spacing (mm)	Proximity factor for effective depth to base of:		
	1000mm	2000mm	3000mm
300	1.82	1.95	1.98
600	1.47	1.82	1.91
900	1.19	1.65	1.82
1200	1.02	1.47	1.71
1800	1.00	1.19	1.47
2400	1.00	1.02	1.27
3600	1.00	1.00	1.02
4800	1.00	1.00	1.00

Fuente: *The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries*

Cuadro N° 07 - Espesores de sub bases de pavimentos para varios tipos de sub rasante

CBR de Sub rasante %	Espesor de nivelación (mm)	Espesor de Sub base (mm)
1	900	150
2	600	150
3	400	150
4	250	150
≥ 5	No requiere	150

Fuente: *The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries*

Manual de Diseño para Pavimentos para Puertos Chilenos

Cuadro N° 08 - Factores de equivalencia de material C8/10 a otros materiales

Material Grouping	Preferred Pavement Base Construction Material		Material Equivalence Factor (MEF)
Hydraulically Bound Mixtures	Material strength	Relevant Standard	
	C _{15/20}	to BS EN 14227-1	1.74
	C ₃₄	to BS EN 14227-1	1.38
	C ₅₆	to BS EN 14227-1	1.16
	C_{8/10}	to BS EN 14227-1	1.00
	C _{12/15}	to BS EN 14227-1	0.87
	C _{16/20}	to BS EN 14227-1	0.79
	C _{20/25}	to BS EN 14227-1	0.74
	C _{15/20}	to BS EN 14227-2&3	1.74
	C ₃₄	to BS EN 14227-2&3	1.38
	C ₅₈	to BS EN 14227-2&3	1.10
	C _{31/2}	to BS EN 14227-2&3	0.95
	C _{12/16}	to BS EN 14227-2&3	0.85
	C _{15/20}	to BS EN 14227-2&3	0.79
	C _{18/24}	to BS EN 14227-2&3	0.76
	C _{21/28}	to BS EN 14227-2&3	0.72
	C _{24/32}	to BS EN 14227-2&3	0.68
	C _{27/35}	to BS EN 14227-2&3	0.63
Concrete	C8/10	to BS8500-1	1.00
	C12/15	to BS 8500-1	0.87
	C16/20	to BS 8500-1	0.79
	C20/25	to BS 8500-1	0.74
	C25/30	to BS 8500-1	0.65
	C25/30	to BS 8500-1 including 20kg/m ³ steel fibre	0.60
	C25/30	to BS 8500-1 including 30kg/m ³ steel fibre	0.55
	C25/30	to BS 8500-1 including 40kg/m ³ steel fibre	0.50
	C28/35	to BS 8500-1	0.62
	C32/40	to BS 8500-1	0.60
	C32/40	to BS 8500-1 including 20kg/m ³ steel fibre	0.55
	C32/40	to BS 8500-1 including 30kg/m ³ steel fibre	0.50
	C32/40	to BS 8500-1 including 40kg/m ³ steel fibre	0.45
	C35/45	to BS 8500-1	0.58

Fuente: *The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries*

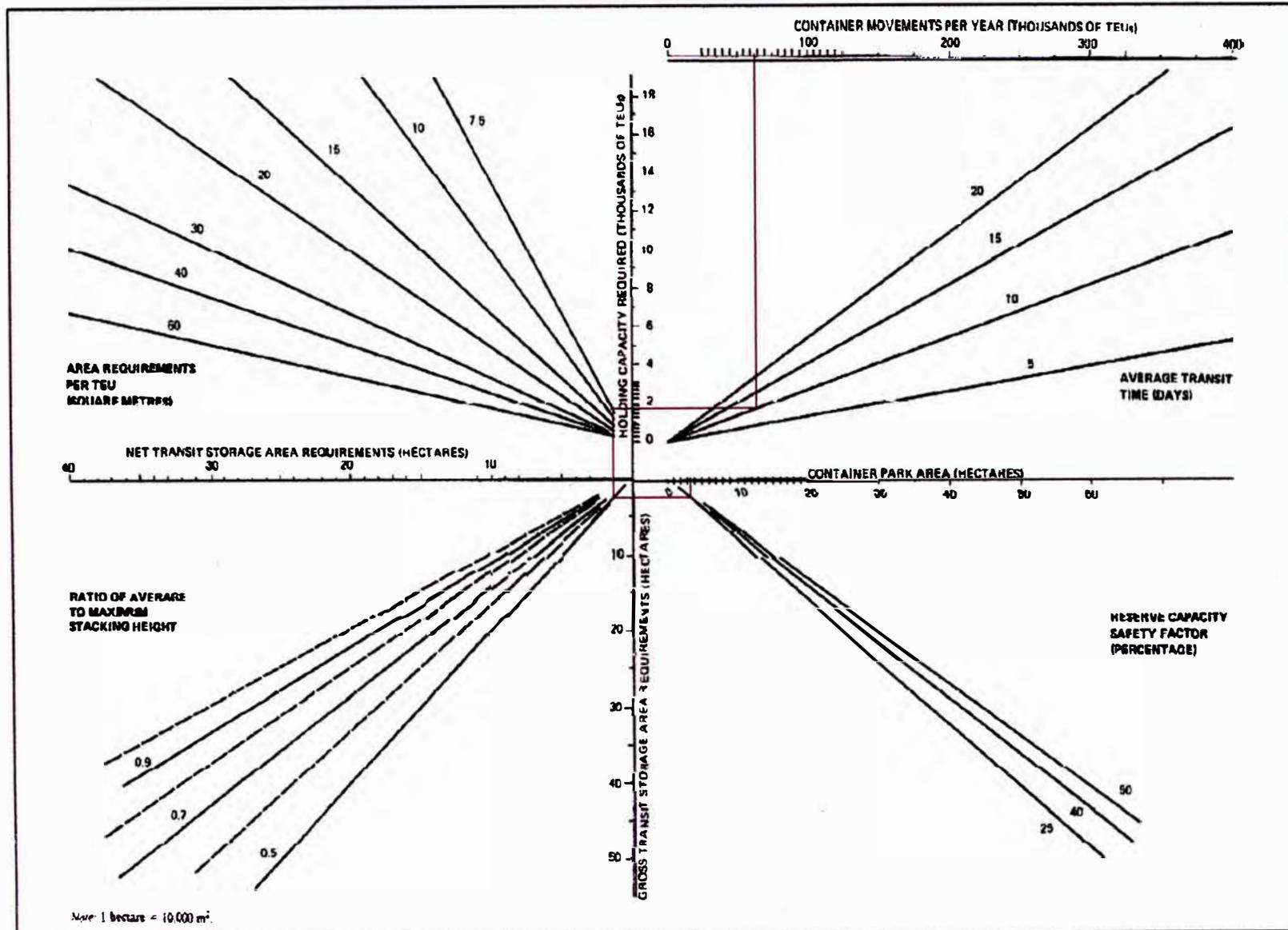
Continuación de Cuadro N° 08

Material Grouping	Preferred Pavement Base Construction Material	Material Equivalence Factor (MEF)
Traditional Cement Bound Materials	<i>CBM1 (4.5N/mm² minimum 7-days compressive cube strength)</i>	1.60
	<i>CBM2 (7.0N/mm² minimum 7-days compressive cube strength)</i>	1.20
	CBM3 (10.0N/mm² minimum 7-days compressive cube strength)	1.00
	<i>CBM4 (15.0N/mm² minimum 7-days compressive cube strength)</i>	0.80
	<i>CBM5 (20.0N/mm² minimum 7-days compressive cube strength)</i>	0.70
	No-fines Lean Concrete for Permeable Paving	1.00
Bitumen Bound Materials	<i>HDM as defined by SHW</i>	0.82
	<i>DBM as defined by SHW</i>	1.00
	<i>HRA as defined by SHW</i>	1.25
Unbound Materials	Crushed rock sub-base material of CBR \geq 80%	3.00
Concrete Block Paving	Concrete Block Paving as a surfacing (80mm blocks and 30mm laying course)	1.00

Fuente: The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries

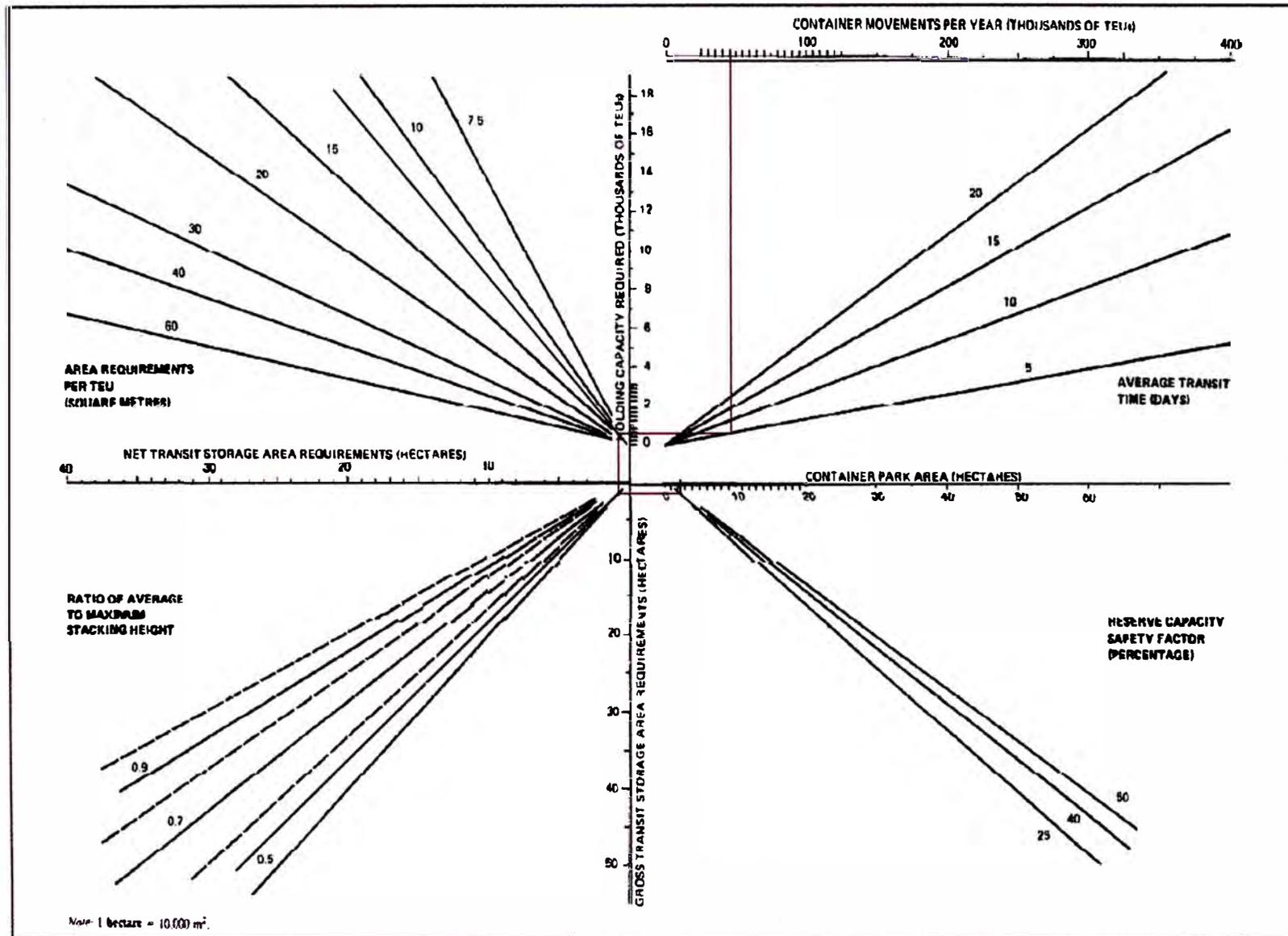
B.1. ÁBACOS DE DISEÑO PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA DEL PATIO DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

Figura N° 01 - Ábaco de Planificación del Terminal de Contenedores - Determinación del área del patio de contenedores llenos



Fuente: Port Development – A Handbook for Planners in Developing Countries

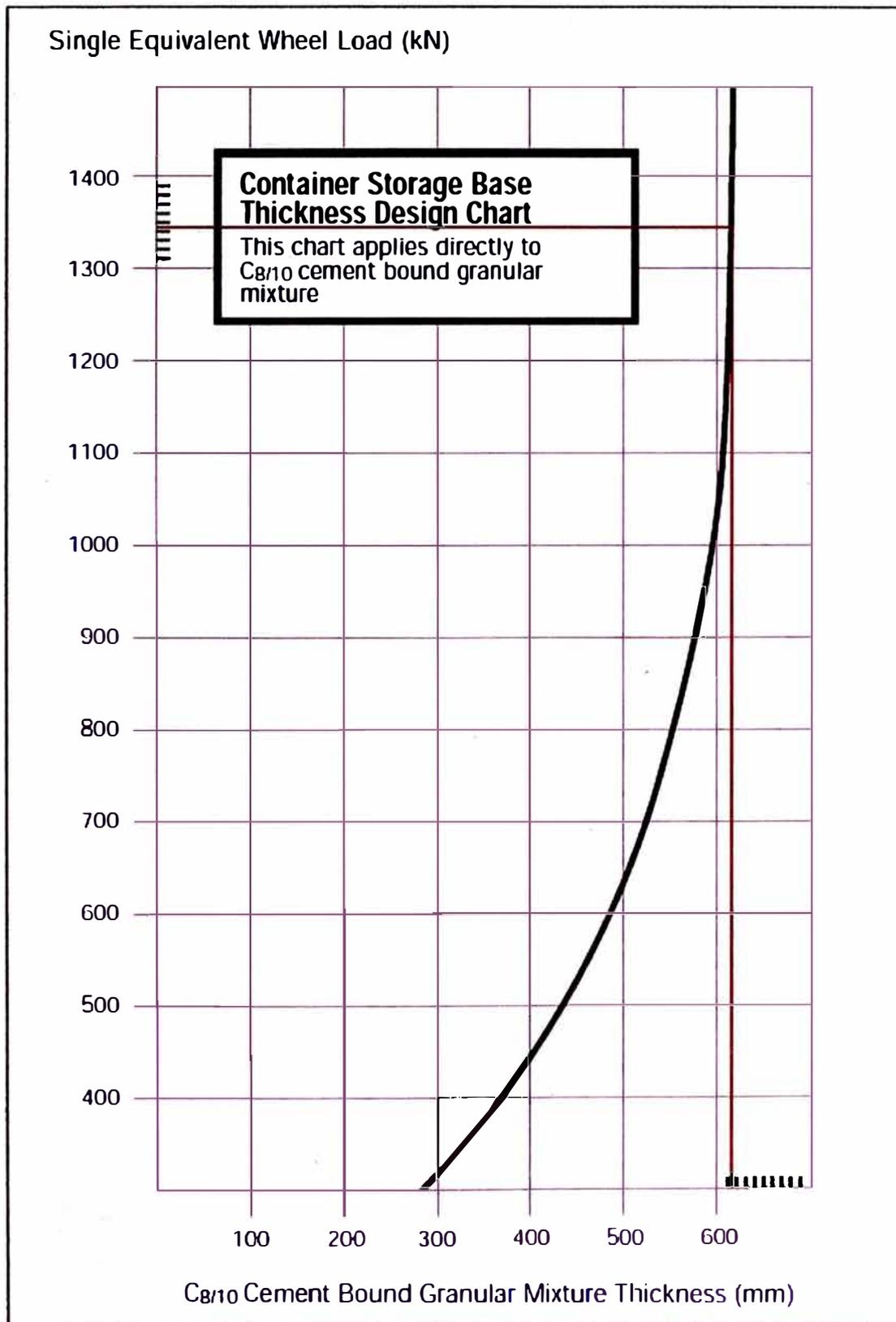
Figura N° 02 - Ábaco de Planificación del Terminal de Contenedores - Determinación del área del patio de contenedores vacíos



Fuente: Port Development – A Handbook for Planners in Developing Countries

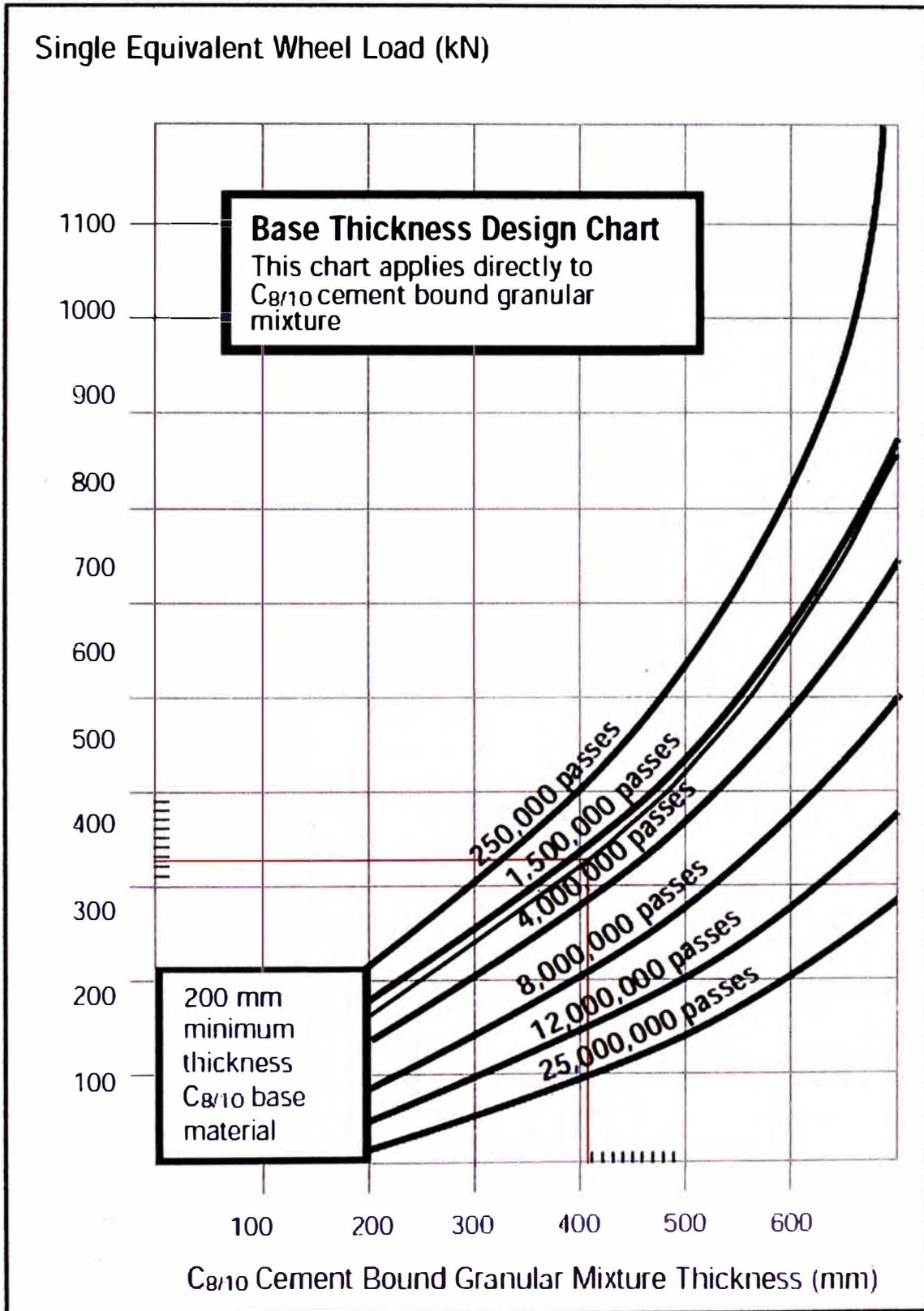
**B.2. ÁBACOS DE DISEÑO PARA EL CÁLCULO DEL PAVIMENTO DEL
PATIO DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES**

Figura N° 03 - Ábaco de diseño de espesor de base para Concreto C8/10 en la zona de almacenamiento de Contenedores



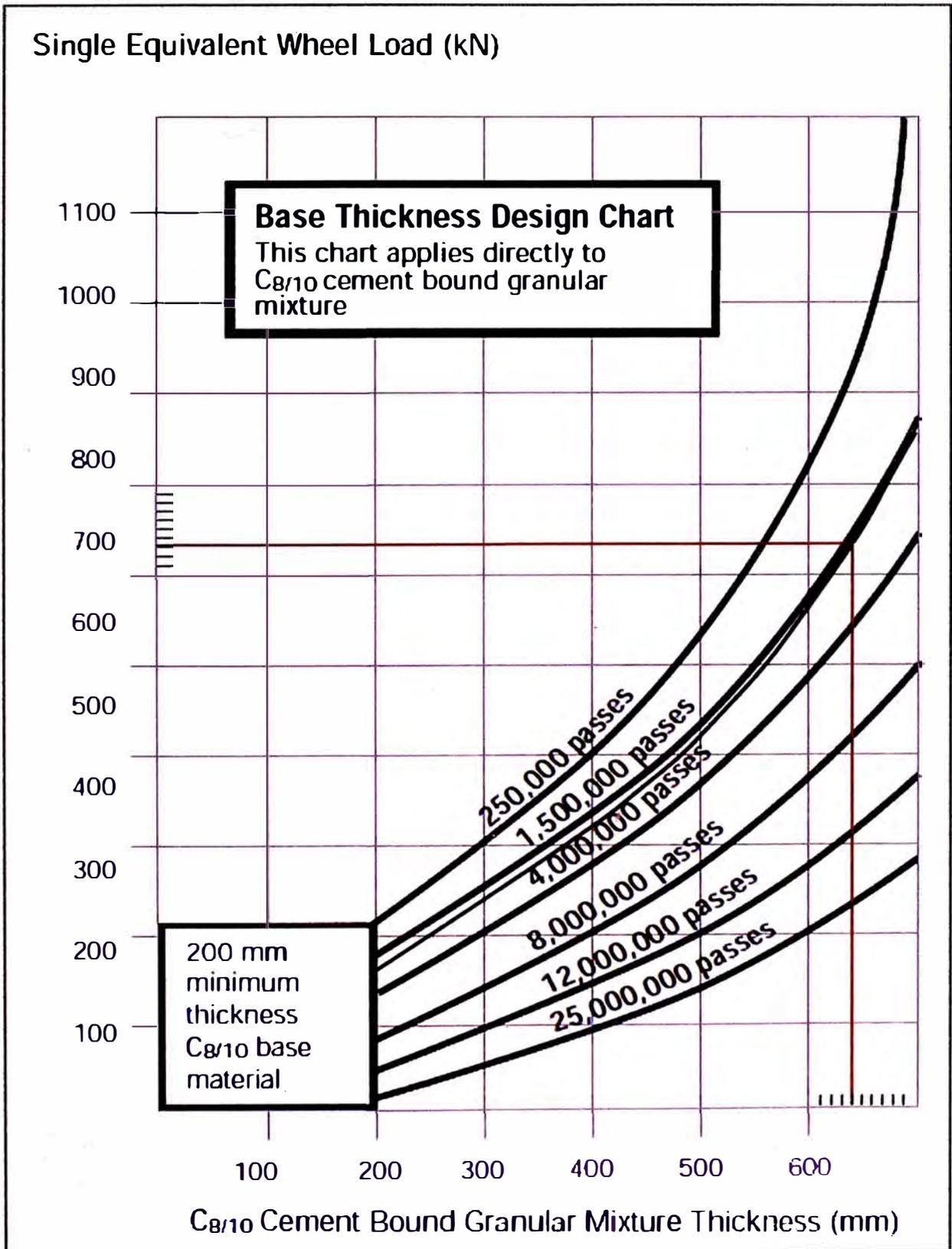
Fuente: *The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries*
Manual de Diseño para Pavimentos para Puertos Chilenos

Figura N° 04 - Ábaco de diseño de espesor de base para Concreto C8/10 por efectos de cargas de tránsito del Fork Lift en el patio de almacenamiento



Fuente: *The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries*
Manual de Diseño para Pavimentos para Puertos Chilenos

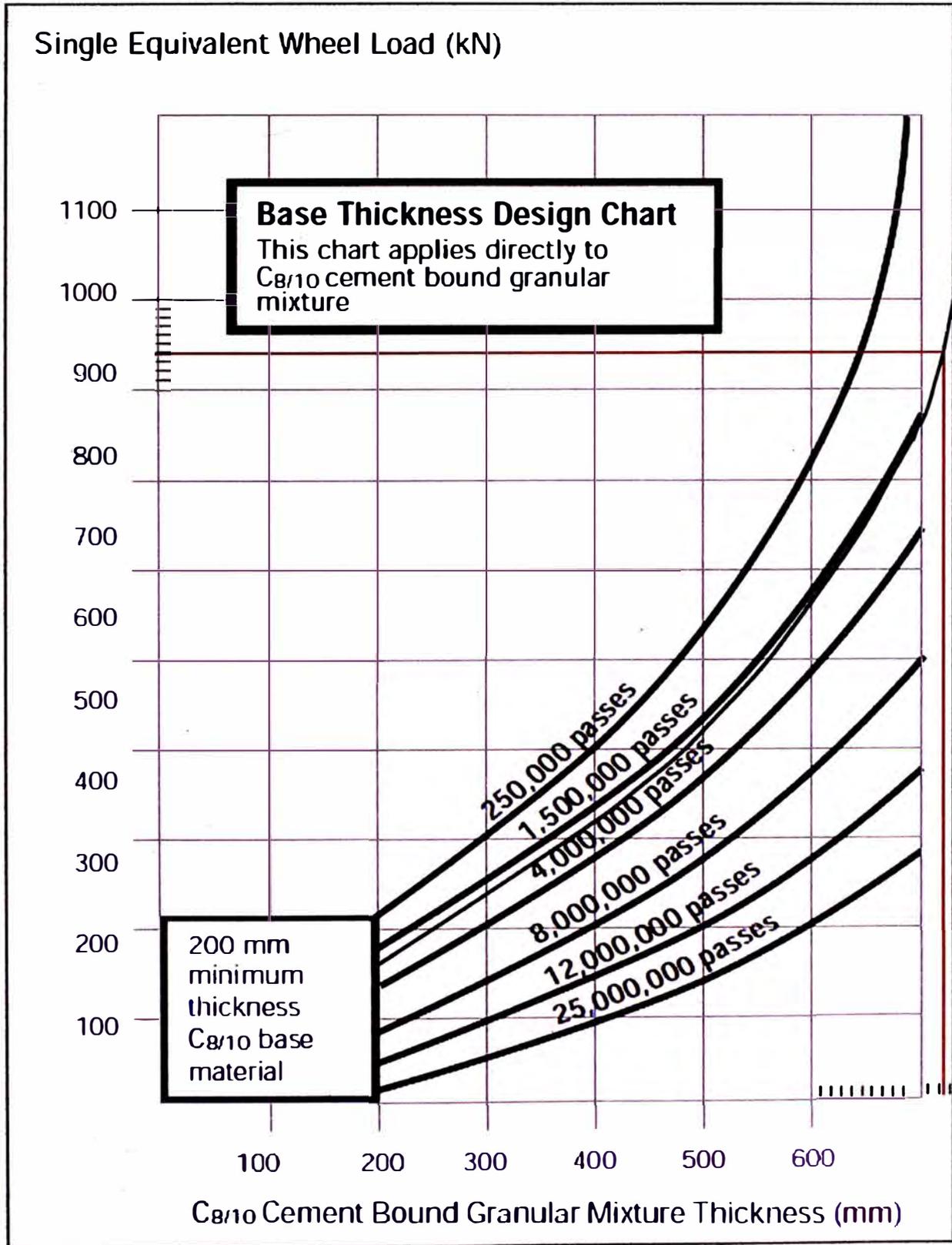
Figura N° 05 - Ábaco de diseño de espesor de base para Concreto C8/10 por efectos de cargas de tránsito del Reach Stacker en el patio de almacenamiento



Fuente: *The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries*

Manual de Diseño para Pavimentos para Puertos Chilenos

Figura N° 06 - Ábaco de diseño de espesor de base para Concreto C8/10 por efectos de cargas de tránsito del Container Tractor en el patio de almacenamiento

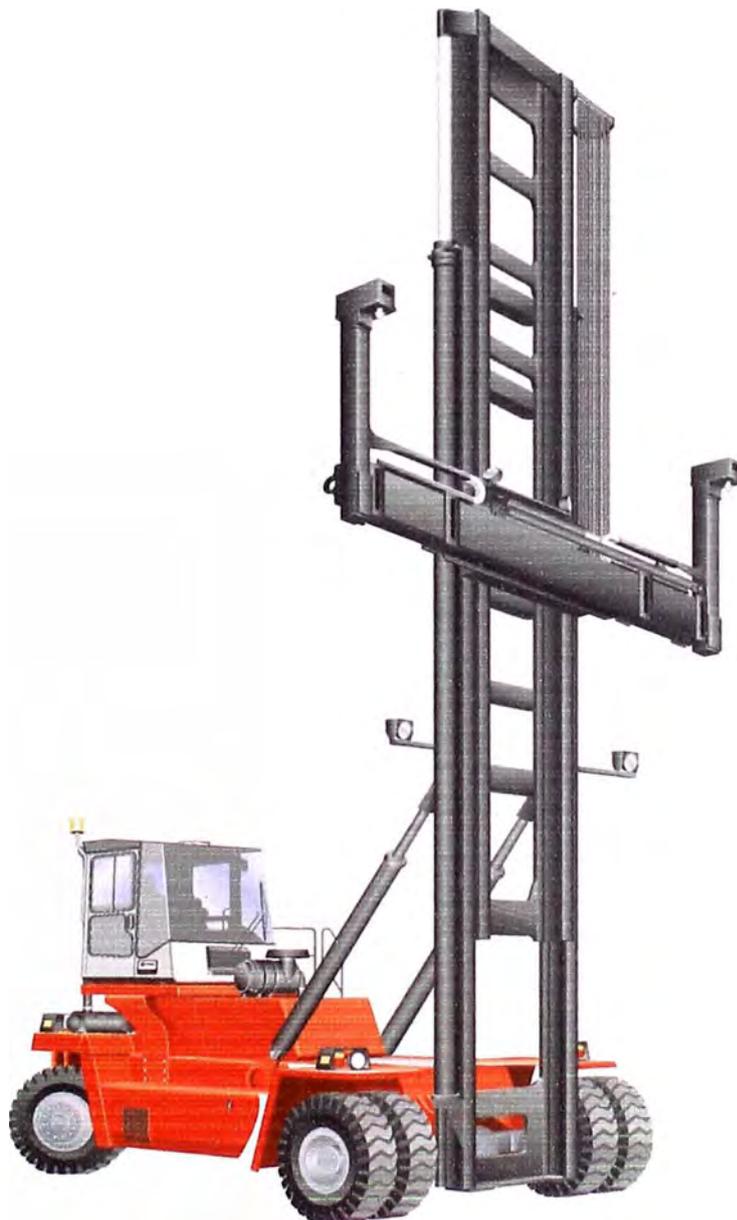


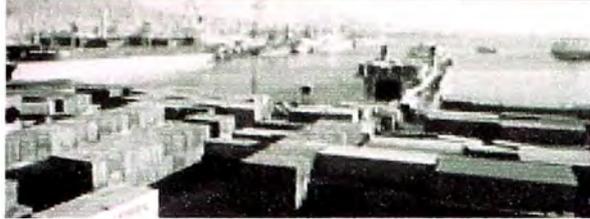
Fuente: *The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and other Industries*
Manual de Diseño para Pavimentos para Puertos Chilenos

**C. CATÁLOGOS DE EQUIPOS DE MANIPULEO Y TRANSPORTE DE
CONTENEDORES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES**

EMPTY CONTAINER HANDLER 7 – 10 TONNE

TECHNICAL INFORMATION DCE70, DCD70, DCE80-100





Dedicated for empty container handling

Kalmar has for a long time been developing machines especially adapted to the handling of empty containers. Our empty container handlers are today operating all over the globe.

In order to get the optimum balance of economy, lifting height and performance for each client, Kalmar can offer a wide range of empty container handlers. Our range stretches from a capacity of 3 high up to 8+1 high.

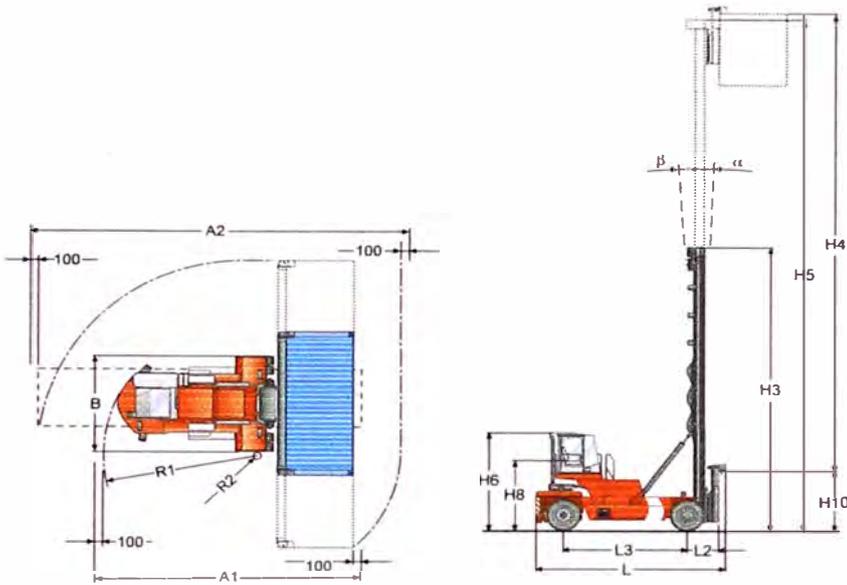
The containers must be moved and stacked fast, safely and efficiently independent of lifting height.

Beside from driving fast and safe, stacking is a time-consuming job that demands preciseness. This places heavy demands on the stability of the machine, mast and spreader together with user friendliness during handling. Another key factor is to create an unobstructed field of vision.

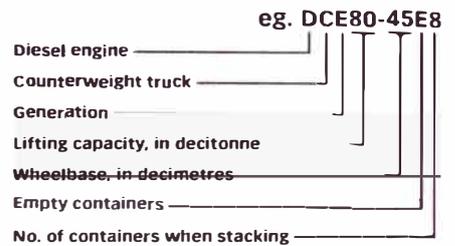
These characteristics combined allow the operator to focus on the task instead of the management of the machine.

Kalmar has developed empty container handling concepts for both single- and double stacking for different lifting heights. The decision on which concept is most suitable is depending on individual operational demands.

Capacity and dimensions				DCE 70-32/35, DCD 70-40			DCE 80-45				
				E3	E4	E5	E5	E6	E7	E8	
Lifting	Lift capacity	Rated	kg	7000	7000	7000	8000	8000	8000	8000	
		Load centre	L4 mm	1220	1220	1220	1220	1220	1220	1220	
		Number of containers		3	4	5	5	6	7	8	
		8'6" container		3	4	5	5	5	6	7	
		9'6" container		3	4	5	5	5	6	7	
Dimensions	Truck	Truck length	L mm	5595	5845	6355	6900	6900	6900	6900	
		Truck width	B mm	2540	2910	3500	4000	4000	4000	4000	
		Truck height, basic machine	Spirit Delta H6 mm	2920	2920	3840	3940	3940	3940	3940	
		Seat height	H8 mm	1790	1790	2700	2800	2800	2800	2800	
		Distance between centre of front axle - front edge of attachment	L2 mm	1265	1265	1275	1150	1150	1150	1150	
		Wheelbase	L3 mm	3250	3500	4000	4550	4550	4550	4550	
		Track (c-c)	front	mm	1855	2210	2800	3270	3270	3270	3270
			rear	mm	1960	1960	1960	2250	2250	2250	2250
		Turning radius	outer	R1 mm	4360	4785	5400	6000	6000	6000	6000
			inner	R2 mm	125	420	285	200	200	200	200
		Ground clearance, min.		mm	250	250	250	250	250	250	250
		Max height when tilting cab	Spirit Delta T1 mm	3395	3395	-	-	-	-	-	-
		Max width when tilting cab	Spirit Delta T2 mm	3380	3380	-	-	-	-	-	-
		Min, aisle width for 90° stacking with forks	8'6" container	A1 mm	8900	9200	9500	10000	10000	10000	10000
			9'6" container	A1 mm	13800	13900	13950	14000	14000	14000	14000
Standard duplex mast	Lifting height	H4 mm	7000	10000	13000	13000	13000	13000	13000		
	Mast height	min.	H3 mm	5195	7075	8540	8540	8540	8540		
		max	H5 mm	8695	12075	15040	15040	15040	15040		
	Mast tilting, forwards - backwards	α - β °	3 - 5	3 - 5	3 - 5	3 - 3	3 - 3	3 - 3	3 - 3		
Attachment	Width	b mm	6064	6064	-	-	-	-	-		
	Height under twistlock	H10 mm	2120	2120	2180	2180	2130	2180	2180		
	Height under hooks	H10 mm	-	-	-	-	-	-	-		
	Sideshift ±	V1 mm	140	140	600	600	600	600	600		
Weight	Service weight	kg	22900	23900	30900	33850	34350	35500	37050		
	Axle load front	Unloaded	kg	14700	15600	21100	21300	21800	22950	24500	
		At rated load	kg	27100	27600	32500	33450	33950	35100	36650	
	Axle load back	Unloaded	kg	8200	8300	9800	12550	12550	12550	12550	
At rated load		kg	2800	3300	5400	8400	8400	8400	8400		
Wheels, brakes, steering	Wheels/tyres	Type, front-rear		Pneumatic			Pneumatic				
		Dimensions, front-rear	inch	12,00 x 20/20PR			12,00 x 24 - 12,00 x 24				
		Number of wheels, front-rear (*driven)		4* - 2			4* - 2				
		Pressure	MPa	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	
Steering system	Type - manoeuvring		Hydraulic servo - Steering wheel			Hydraulic servo - Steering wheel					
Service brake system	Type - affected wheels		Oil cooled disc brakes			Oil cooled disc brakes					
			(Wet disc brakes - drive wheels)			(Wet disc brakes - drive wheels)					
Parking brake system	Type - affected wheels		Dry spring activated disc brake			Dry spring activated disc brake					
			- drive wheels			- drive wheels					
Misc.	Hydraulic pressure	Max	MPa	19,5	20	16,0	19,0	19,0	19,0	19,0	
	Hydraulic fluid volume	l		225	225	220	320	320	320	320	
	Fuel volume	l		200	200	205	380	380	380	380	
	Starting battery	Voltage - capacity	V-Ah		2 x 12 - 140			2 x 12 - 140			



Model designation



DCE 90-45				DCE 100-45	
E5	E6	E7	E8	E7	E8
9000	9000	9000	9000	10000	10000
1220	1220	1220	1220	1220	1220
5	6	7	8	7	8
5	5	6	7	6	7
6900	6900	6900	6900	6900	6900
4000	4000	4000	4000	4500	4500
4000	4000	4000	4000	4600	4600
2900	2900	2900	2900	3500	3500
1150	1150	1150	1150	1140	1200
4550	4550	4550	4550	4550	4550
3270	3270	3270	3270	3750	3750
2250	2250	2250	2250	2250	2250
6300	6300	6300	6300	6300	6300
200	200	200	200	200	200
300	300	300	300	300	300
-	-	-	-	-	-
10000	10000	10000	10000	10000	10000
14000	14000	14000	14000	14000	14000
13000	13000	13000	13000	16500	16500
8600	8600	8600	8600	10350	10350
16350	16350	16350	16350	19500	19500
3-3	3-3	3-3	3-3	3-3	3-3
-	-	-	-	-	-
2240	2240	2240	2240	2300	2300
-	-	-	-	-	-
600	600	600	600	600	600
34700	35200	36700	38200	40600	41900
21500	22000	23500	25000	21600	27400
35200	35700	37200	38700	41400	42700
13200	13200	13200	13200	14500	14500
8500	8500	8500	8500	9200	9200
Pneumatic				Pneumatic	
14,00 x 24 - 14,00 x 24				14,00 x 24 - 14,00 x 24	
4* - 2				4* - 2	
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Hydraulic servo - Steering wheel				Hydraulic servo - Steering wheel	
Oil cooled disc brakes				Oil cooled disc brakes	
(Wet disc brakes - drive wheels)				(Wet disc brakes - drive wheels)	
Dry spring activated disc brake				Dry spring activated disc brake	
- drive wheels				- drive wheels	
20,0	20,0	20,0	20,0	22,5	22,5
320	320	320	320	320	320
380	380	380	380	380	380
2 x 12 - 140				2 x 12 - 140	



Single stacking

The single handling concept starts at 3 high stacking and up to 8 high. Characteristic for the machines dedicated for single stacking is flexibility, stability and high lifting speeds. Twistlock attachments are widely used on many Kalmar machines over the globe.

High demands on selectivity and limitations in ground space are the key factors when considering on single stacking equipment.



Double stacking

Double stacking of containers is an important step in increasing the productivity in the empty container handling business. Double stacking can be a very demanding application for the Empty Container Handler. The new DCE100 model from Kalmar fulfils these high requirements of stability and strength with margin.

Stacking two containers simultaneously is most of all a question of extreme demands of operational efficiency before demands on selectivity.

Performance

DCE70-32/35, E3/E4

Performance				Volvo - TAD620VE		Cummins - 6B5.9e	
				E3	E4	E3	E4
Performance	Lifting speed	Unloaded	m/s	0,50	0,60	0,50	0,60
		At rated load	m/s	0,45	0,55	0,45	0,55
	Lowering speed	Unloaded	m/s	0,50	0,40	0,40	0,40
		At rated load	m/s	0,50	0,40	0,40	0,40
	Travelling speed, f/r	Unloaded	km/h	30	30	30	30
		At rated load	km/h	30	30	30	30
Gradeability	Max	unloaded	%	48	46	50	47
		at rated load	%	35	33	36	34
	At 2 km/h	unloaded	%	35	33	36	34
		at rated load	%	26	25	26	25
Drawbar pull	Max	kN	103	103	105	105	

DCD70-40, E5

Performance				Volvo - TAD720VE	Volvo - TD640VE
				E5	E5
Performance	Lifting speed	Unloaded	m/s	0,45	0,45
		At rated load	m/s	0,40	0,40
	Lowering speed	Unloaded	m/s	0,60	0,60
		At rated load	m/s	0,60	0,60
	Travelling speed, f/r	Unloaded	km/h	26	26
		At rated load	km/h	26	26
Gradeability	Max	unloaded	%	45	36
		at rated load	%	36	28
	At 2 km/h	unloaded	%	39	30
		at rated load	%	31	23
Drawbar pull	Max	kN	134	110	

DCE80-45/90-45/100-45, E5/E6/E7/E8

Performance				Volvo - TAD720VE			Volvo - TWD731VE			Cummins QSBS.9		
				DCE80-45	DCE90-45	DCE100-45	DCE80-45	DCE90-45	DCE100-45	DCE80-45	DCE90-45	DCE100-45
Performance	Lifting speed	Unloaded	m/s	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	
		At rated load	m/s	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	
	Lowering speed	Unloaded	m/s	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	
		At rated load	m/s	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	
	Travelling speed, f/r	Unloaded	km/h	27/27	28/28	28/28	27/27	27/27	27/27	27/27	28/28	28/28
		At rated load	km/h	25/25	26/26	26/26	25/25	25/25	25/25	25/25	27/27	27/27
Gradeability	Max	unloaded	%	36	31	31	28	28	28	36	31	31
		at rated load	%	29	24	23	25	22	22	29	25	25
	At 2 km/h	unloaded	%	31	27	27	24	24	24	31	27	27
		at rated load	%	25	21	20	22	19	19	25	21	21
Drawbar pull	Max	kN	127	114	114	105	105	105	127	115	115	

Make things easy

Kalmar

Technical Information
Container Handler
ContChamp 42-45 tonnes



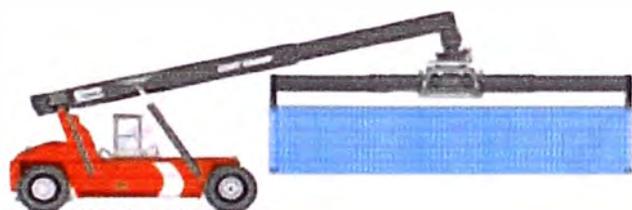


Flexible Container Handling

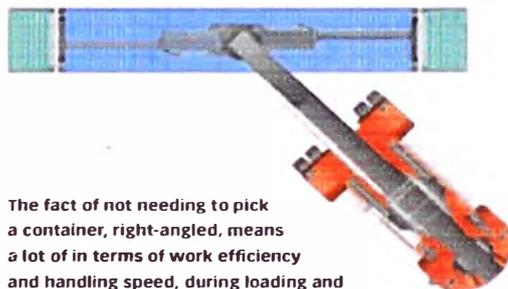
Reachstackers from Kalmar combine performance, comfort and reliability.

Container handling with a reachstacker is one of the most flexible handling solutions whether to operate a smaller one-unit terminal or a medium sized port. A reachstacker can handle loaded containers quickly and efficiently in narrow spaces, while still ensuring the driver has optimum visibility.

The extensive freedom allowed by the lifting equipment, boom and attachment, and its rotation possibilities, gives that the driver can improve the work efficiency of the unit, by not needing to approach the container from a 90 degrees position.



Containers can be lifted lengthwise making it possible to deliver the container into and through workshop doors, port shed gates, etc in then low, longitudinal position.



The fact of not needing to pick a container, right-angled, means a lot of in terms of work efficiency and handling speed, during loading and unloading.

Instead, the container can be picked or dropped-off by the unit approaching from any angle <90 degree. And by rotating the spreader and reaching the boom to suitable length, the driver can handle the container from any position. As an additional advantage, the aisle width - driving space depth, needed - can be squeezed, as well.

Wear on the machine and the working surface can be reduced if the reachstacker is used in the right way. Compared to a conventional forklift, a larger proportion of the lifting manoeuvre can be performed while the unit is stationary.

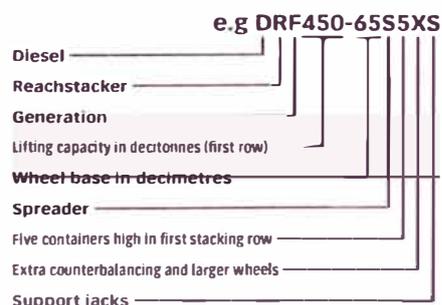
Containers can also be lifted and transported lengthwise, making it possible to deliver the container into and through workshop doors, port shed gates, etc in then low, longitudinal position. This can be a vital ability for the possibility of container stripping and stuffing inside the sheds.

The goals in developing a reachstacker are clear: high performance throughout the operating cycle, high user-friendliness, and low running costs. Together with a high level of environmental awareness, this has resulted in new technical solutions and systems.

Any driver with the ability to take advantage of the machine's capacity and technical benefits will find this reachstacker a powerful, flexible tool for handling containers with the lowest possible operating and maintenance costs.

The technical information in this material primarily refers to the DRF. Specific information about the DRD's technical systems is available on request.

Clarification of model designation





Capacity and dimensions

Maximum lifting capacity in confined spaces.

The chassis and lifting equipment have been newly developed to ensure the best possible performance, strength and user-friendliness. The nature of the working environment and capacity requirements at different load centres determine which model is the most suitable.

Lifting boom

The lifting boom carries the load. The design has been optimised using computer simulations and extensive field tests. The powerful execution in high-tensile steel has a minimal number of welds for maximum strength. The boom's fixture in the frame and the lifting cylinders are fitted

with spherical plane thrust bearings. The width of the rear fixture (boom suspension) increases the overall rigidity and the good rearward visibility.

The boom has two sections, the inner and outer boom. The sliding plates between the inner and outer boom require no lubrication. The cable-chain which leads hydraulic hoses and cabling to the attachment is made of maintenance-free plastic.

The blocking valves on the lifting and extension cylinders block the oil flow when the boom functions are not in use, which secures the boom position. The base of the lifting cylinders has a new design that produces smooth stopping and starting movements.

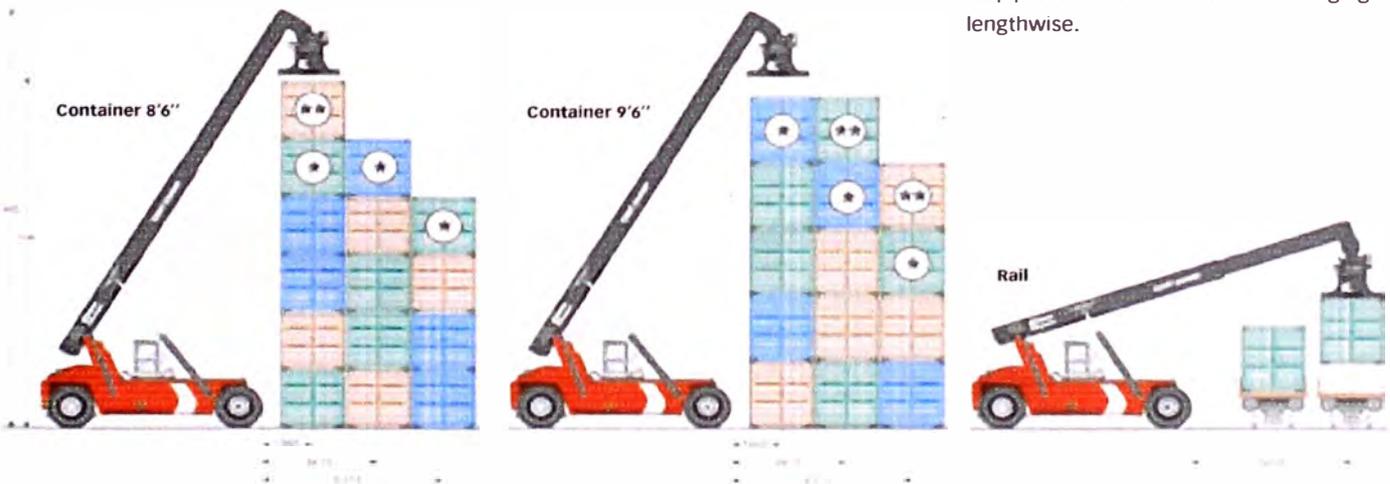
The boom's lifting and extension function is damped in the end positions for reduced wear and greater comfort.

Lifting boom hydraulics

Oil is fed to the boom functions by load sensing pumps. To reduce pressure drops, wide hydraulic hoses have been used for the boom functions. A wider hose produces a lower flow rate with the same volume, thereby reducing friction and heat development.

Rotator

The rotator is fixed in the inner boom and enables the container to be rotated. The rotator consists of an upper and a lower yoke joined with a powerful bearing. Rotation is enabled by two hydraulic motors, which drive a gear-ring. Two hydraulic dampers help prevent the container from swinging lengthwise.



Capacity (tonnes)

Model	Container 8'6"			Container 9'6"			Rail	Lifting height to lift attachment	
	1:st row	2:nd row	3:rd row	1:st row	2:nd row	3:rd row		2:nd row	H4 (mm)
DRF420-60S5	41*/42	25*	11*	40*/42	25*	11*	16	15100	18100
DRF450-60S5	43*/45	27*	13*	42*/45	27*	13*	18	15100	18100
DRF450-60S5X	43*/45	35*	18*	42*/45	35*	18*	24	15200	18200
DRF420-65S5	41*/42	28*	13*	40*/42	28*	13*	18	15100	18100
DRF420-65S6	39**/41*/42	28*	13*	40*/42	28**	13**	18	16200	19250
DRF450-65S5	43*/45	30*	15*	42*/45	30*	15*	20	15100	18100
DRF450-65S6	42**/44*/45	30*	15*	43*/45	30**	15**	20	16200	19250
DRF450-65S5X	45*	36*/38	21*	43*/45	37*/38	21*	27	15200	18200
DRF450-65S6X	42*/45*	35*/38	21*	43*/45	34**/36*/38	21**	27	16300	19350
DRF420-70S5	41*/42	30*	15*	40*/42	30*	15*	20	15100	18100
DRF450-70S5X	45*	39*/41	23*	45*	40*/41	23*	29	15100	18200
DRF450-70S5XS	45*	39*/41	23*/(31*)	45*	40*/41	23*/(31*)	29/(35)	15100	18200
DRF450-75S5XS	45*	43*/45	26*/(34*)	45	45*	26*/(34*)	32/(41)	15200	18400
DRD450-80S4X	45*	45	35	45	45*	35	44	13500	17000
DRD450-80S4XS	45*	45	35/(45)	45	45*	35/(45)	44/(45)	13500	17000
DRD450-80S5XS									

Information available on request

(xx) = Support jacks down (1) = May alter pending on model



Attachment

The primary function of the attachment is to firmly attach the container during lifting. This is done with four twistlocks which rotate, thereby securely gripping the container's corner fittings.

The mechanical levelling ensures that the twistlocks reach the corners, even if the container is leaning.

The attachment can easily be adapted to different container standards. A hydraulic motor drives the function via chains. The container can also be moved sideways to facilitate loading and unloading, or to compensate for unbalanced loads. Two hydraulic cylinders perform the side-shift movement.

Attachment and rotator hydraulics

The functions are fed with a constant pressure, which means there is no pumping of hydraulic oil when the functions are not in use. One valve serves all the hydraulic functions in the attachment. The valve ensures that each hydraulic function is fed the exact amount of oil needed to optimise the speed of the functions' movements. The attachment functions are damped in the end positions.

Chassis

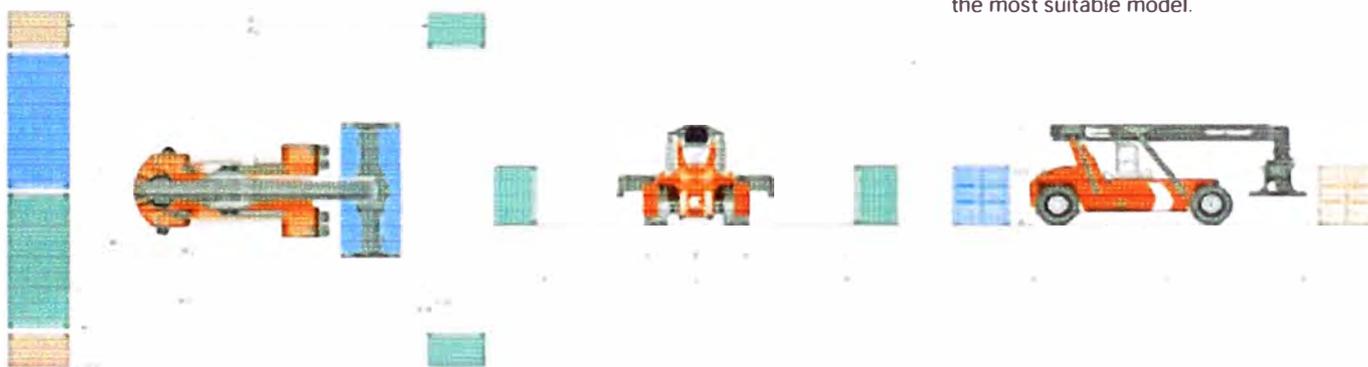
The frame forms the basis of the machine's lifting and manoeuvring characteristics. The frame's beam construction, along with its width, makes the reachstacker stable, torsion resistant and service-friendly.

Firstly, a large number of computer simulations have been run in order to eliminate critical tensions under various kinds of strain. The simulations were characterised by uncompromising demands on the fundamental principles of stability, manoeuvrability and visibility. Secondly, the machine has then undergone extensive field-testing to fully ensure its dynamic strength.

The reachstacker is available with a variety of wheelbases to fulfil demands on lifting capacity in relation to manoeuvrability and operating economy in the best way.

Increased capacity

In some cases, high capacity requirements in the second and third rows of containers, or on the far rail track, call for the benefit of support legs. In other cases, it may be the restricted handling space that determines the most suitable model.



Dimensions

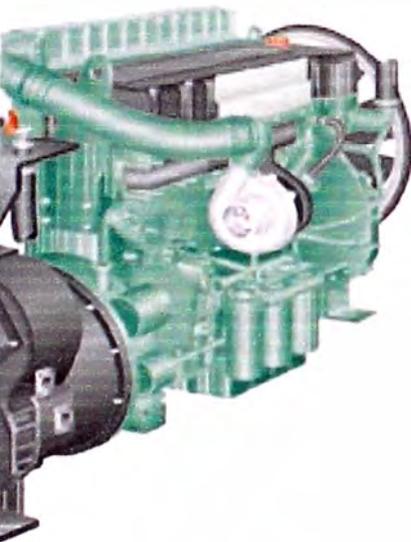
Model	Aisle width (mm)		Turning radius (mm)		Main dimensions (mm)						Service weight (kg)
	A1 - 20 ft	A2 - 40 ft	R1 - 20 ft	R3 - 40 ft	B	V	L	H3	Clearance	Wheels	
DRF420-60S5	11200	13600	8100	9400	4150	6055-12185	11200	4500	250	18.00x25/36	64500
DRF450-60S5	11200	13600	8100	9400	4150	6055-12185	11200	4500	250	18.00x25/40	66400
DRF450-60S5X	11200	13600	8100	9400	4150	6055-12185	11200	4600	300	18.00x33/36	76500
DRF420-65S5	11600	13600	8500	9400	4150	6055-12185	11700	4500	250	18.00x25/36	65000
DRF420-65S6	11900	13900	8500	9450	4150	6055-12185	12000	4500	250	18.00x25/36	66200
DRF450-65S5	11600	13600	8500	9400	4150	6055-12185	11700	4500	250	18.00x25/40	66800
DRF450-65S6	11900	13900	8500	9450	4150	6055-12185	12000	4500	250	18.00x25/40	67800
DRF450-65S5X	11600	13600	8500	9400	4150	6055-12185	11700	4600	300	18.00x33/36	76300
DRF450-65S6X	11900	13900	8500	9450	4150	6055-12185	12000	4600	300	18.00x33/36	77200
DRF420-70S5	12100	13600	9000	9400	4150	6055-12185	12200	4500	250	18.00x25/36	65800
DRF450-70S5X	12100	13600	9000	9400	4150	6055-12185	12200	4700	300	18.00x33/36	77800
DRF450-70S5XS	12100	13600	9000	9400	4150	6055-12185	12200	4700	300	18.00x33/36	79300
DRF450-75S5XS	12500	13600	9400	9400	4150	6055-12185	12700	4750	300	18.00x33/36	82100
DRD450-80S4X	14900	15300	11000	11250	4500	6055-12185	14200	5150	425	21.00x35/36	102600
DRD450-80S4XS	14900	15300	11000	11250	4500	6055-12185	14200	5150	425	21.00x35/36	103100
DRD450-80S5XS											

Information available on request

Engine

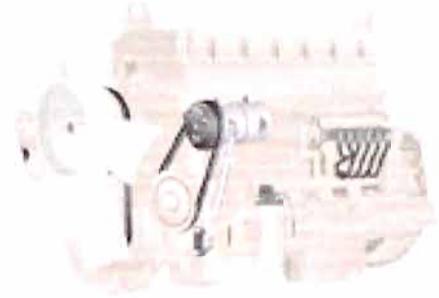
A Volvo engine is standard. Cummins is available as optional extra. The engine provides power for driving and the working hydraulics. The engines are low-emission turbo diesels with unit injectors and intercoolers.

The design of the combustion vessels, along with the precise fuel injection control, ensures more efficient combustion. Emissions decrease, while power and torque increase. The engines fulfil the requirements of 97/68 EC stage 2, US EPA Tier 2, and sound and vibration standards PREN 13059.



The engine and transmission cooler is a single unit that uses the same fan. The engine cooler's separate expansion vessels are fitted with a level transmitter that indicates low coolant level.

When the engine temperature is too high or the coolant level or oil pressure too low, the engine's power output is actively reduced. Should the oil pressure fall below a certain level, the fuel feed to the engine is cut off automatically.

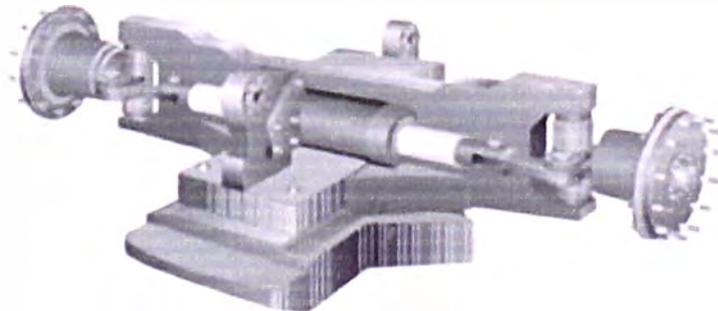


Cummins QSM11 with air cooled intercooler can be fitted as optional extra.

Steering system

The steering axle has been cut from a single piece of robust steel, which means as few maintenance-requiring parts as possible and high structural strength. In the suspension points on the steering axle, a maintenance-free plastic material has been used.

The hydraulics that feed oil to the steering cylinder is optimised for enhanced driving sensation. Orbitrol and the priority valve jointly provide gentle yet precise steering movements.



The new steering axle has few maintenance-requiring parts and high structural strength.

Performance

Model	Lifting speed(m/s)		Lowering speed(m/s)		Driving speed (km/h)		Grade ability (%)			Draw pull(kN)	
	unloaded	at 70% of rated load	unloaded	at rated load	unloaded (F/R)	at rated load (F/R)	at 2 km/h, unloaded	at 2 km/h, at rated load	max, unloaded	max	
DRF420-60S5	0,42	0,25	0,36	0,36	25/25	21/21	39	21	39	355	
DRF450-60S5	0,42	0,25	0,36	0,36	25/25	21/21	38	20	38	355	
DRF450-60S5X	0,42	0,25	0,36	0,36	27/27	21/21	32	19	34	314	
DRF420-65S5	0,42	0,25	0,36	0,36	25/25	21/21	39	21	39	355	
DRF420-65S6	0,42	0,25	0,36	0,36	25/25	21/21	38	20	38	355	
DRF450-65S5	0,42	0,25	0,36	0,36	25/25	21/21	38	20	38	355	
DRF450-65S6	0,42	0,25	0,36	0,36	25/25	21/21	38	20	38	355	
DRF450-65S5X	0,42	0,25	0,36	0,36	27/27	21/21	32	19	34	314	
DRF450-65S6X	0,42	0,25	0,36	0,36	27/27	21/21	32	19	34	314	
DRF420-70S5	0,42	0,25	0,36	0,36	25/25	21/21	39	21	39	355	
DRF450-70S5X	0,42	0,25	0,36	0,36	27/27	21/21	26	16	34	314	
DRF450-70S5XS	0,42	0,25	0,35	0,35	26/26	20/20	26	16	34	314	
DRF450-75S5XS	0,41	0,24	0,35	0,35	26/26	19/19	24	15	34	317	
DRD450-80S4X	0,40	0,20	0,33	0,31	25/25	20/20	27	19	41	449	
DRD450-80S4XS	0,40	0,20	0,33	0,31	25/25	20/20	27	19	41	449	
DRD450-80S5XS	0,40	0,20	0,33	0,31	25/25	20/20	27	19	41	449	



Ottawa 6x4 DOT/EPA Certified Standard Specifications

6 X 4 YARD TRACTOR

STANDARD FEATURES

- Cummins ISB-07 200 HP @ 2300 RPM
520 lb/ft torque @1600 RPM
certified turbo diesel with primary fuel filter
- Allison 3000RDS Transmission (4 speed)
- Front Axle: Meritor FF-961, 12,000 lb
- Rear Axle: Meritor RT-40-145 7.17:1
Ridewell dynalastic Suspension, 48,000 lb.
rating
- 146" Wheelbase with "L" reinforcement
- Fifth wheel: Holland FW-3500, 70,000 lb
plate rating
- Fifth wheel lift cylinders: 5" diameter, 60,000
lb rating
- Tires 11R22.5 Steel belted radials 14PR
- Wheels 22.5" X 8.25" 285 mm hub piloted,
10 hole steel disc
- Vertical exhaust system with heat shield
- Air cleaner, frontal inlet
- Back-up light, stop and turn signals
- Mud-flaps rear spring loaded
- Battery box with step 16" width
- Cab side vent (riveted)
- Drive shaft Spicer 1710 series
- Approximate Vehicle Weight 18,000 lbs.
- GCWR 80,000 Lbs

TRAILER EQUIPMENT

- Two (2) color coded, coiled air lines with
glad hand receivers, 7 wire female
receptacle at rear of cab, 7 wire coiled
trailer light cable

STEERING

- Gearbox type integral power steering with
mechanical back up
- Constant running PTO/pump
with priority steering circuit

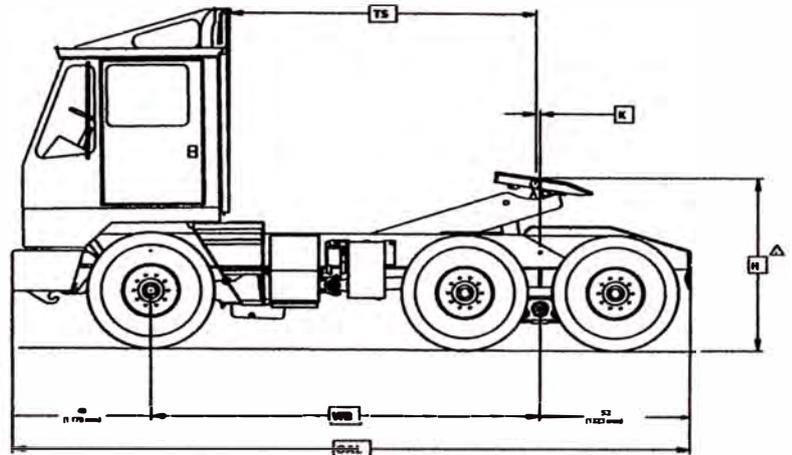
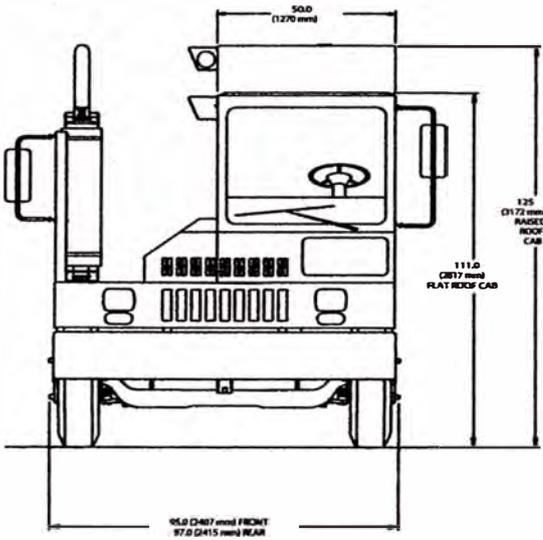
CAB FEATURES

- Cab air ride, 3-point mount suspension
- Cab with raised roof: 50" X 65" X 68" welded
steel and driver's side door which has a
full length piano hinge and an aluminum
sliding rear door
- Cab insulation, for thermal protection and
noise abatement
- Cab tilt: Electric 45° with 90° tilt capability
- Platform, rear of cab
- Air Ride Seat with isolator
- Seat belt with 2-point mount
- Tinted glass all windows
- 40,000 BTU fresh air heater/defroster
- West coast 16" X 7" mirrors
- See through sun visor
- ICC light package
- **Cab gauges:**
Volt meter, oil pressure, water
temperature, fuel level, air pressure,
speedometer and 5-digit hour-meter
- **Cab controls:**
Accelerator, tractor/trailer brakes, gear
selector, fifth wheel elevation, steering
wheel 18" soft touch, dash light controls,
turn signals, electric horn, heater defroster,
electric windshield washer, electric
windshield wiper control, door locks,
headlights, side and front clearance lights,
inter axle lock, rear flood light upper right
side, 5th wheel unlatch

WARNING DEVICES

- Low air pressure light and alarm
- Transmission oil high temperature
warning
- Headlight hi-beam indicator
- Electric backup alarm
- Engine temperature/oil pressure
- Engine protection warning system

Ottawa 6x4 DOT/EPA Certified



		BOOM POSITION	
WB	DIM	UP	DOWN
146" (3708.4 mm)	TS	113 (2874 mm)	118 (2989 mm)
	K	6.0 (153 mm)	1.5 (38 mm)
	H	66 (1664 mm)	48.0 (1211 mm)
	OAL	244 (6207 mm)	

HYDRAULIC SYSTEM

- 16 gallon tank with sight glass
- 10 GPM pump
- 5" hydraulic lift cylinders
- Hydraulic system fittings with "O" Ring
- Boom lift 17"

BRAKES

- Split Brake system
- FMVSS 121 Brake system with ABS
- Front: "S" Cam type 16.5" x 5" air actuated
- Rear: "S" Cam type 16.5" x 7" air actuated
- Automatic slack adjusters front and rear

FRAME FEATURES

- Welded 80,000 psi steel with 12" x 3 3/8" X 3/8" formed channel 43.25" wide frame with "L" frame reinforcement (3,878,000 in/lb RBM)
- 55° tapered deck curbside with reinforced removable bumper
- 50-gallon frame mounted round fuel tank, curbside
- Integral front and rear tow eyes

PNEUMATIC SYSTEM

- 15.2 CFM Wabco compressor with 3 tank air reservoir system total capacity 5688 cu. in
- Color-coded air lines

ELECTRICAL SYSTEM

- 12 Volt neg. ground with circuit breakers, 130-amp minimum charge alternator, color coded wiring in separate removable harness, 12-volt starter with positive engagement, two (2) 12-volt low maintenance batteries, cab dome light.

PAINT FINISH

- Cab: white DuPont Imron 5000
- Chassis and components powder coated primer, top coated with polyurethane, paint black
- Wheels: Paint "E" coat white
- Rubberized undercoating under cab and deck



– F. Datos técnicos

0.1 Datos del vehículo estándar

Tractor de terminal serie Ottawa

A continuación se presentan las características estándar, las dimensiones y las especificaciones de rendimiento para tres configuraciones de chasis típicas. Se encuentran disponibles elementos opcionales de equipamiento como sistemas de frenado ABS y especificaciones GCW hasta 125,000 libras (56,700 kg) en función de las combinaciones de motor, transmisión y ejes.

	Modelo y configuración del chasis		
	Ottawa 4x2	Ottawa 4x2	Ottawa 6x4
Aplicación (certificación)	Todo terreno (Off-Highway)	Certificación DOT/EPA	Certificación DOT/EPA
Motor (estándar)	Cummins QSB6.7	Cummins ISB07	Cummins ISB07
Potencia máxima	160 CV a 2200 rpm (120 kW a 2200 rpm)	200 CV a 2300 rpm (150 kW a 2300 rpm)	200 CV a 2300 rpm (150 kW a 2300 rpm)
Par	540 lb-pie a 1500 rpm (730 Nm a 1500 rpm)	520 lb-pie a 1600 rpm (700 Nm a 1600 rpm)	520 lb-pie a 1600 rpm (700 Nm a 1600 rpm)
Transmisión (estándar)	Allison 3000RDS	Allison 3000RDS	Allison 3000RDS
Velocidades	3 avance, 1 reversa	4 avance, 1 reversa	4 avance, 1 reversa
Eje propulsor	Spicer 1710	Spicer 1710	Spicer 1710
Eje, delantero	Meritor FF961	Meritor FF961	Meritor FF961
Eje(s), trasero	Meritor RS-23-186	Meritor RS-24-160	Meritor RT-40-145

	Modelo y configuración del chasis		
	Ottawa 4x2	Ottawa 4x2	Ottawa 6x4
Sistema de frenos	Aire	Aire con ABS	Aire con ABS
Extremos de ruedas:			
Delantera – tipo, tamaño	Leva en forma de S, 16,5x5 pulgadas (419x127 mm)	Leva en forma de S, 16,5x5 pulgadas (419x127 mm)	Leva en forma de S, 16,5x5 pulgadas (419x127 mm)
Trasera – tipo, tamaño	Leva en forma de S, 16,5x7 pulgadas (419x178 mm)	Leva en forma de S, 16,5x7 pulgadas (419x178 mm)	Leva en forma de S, 16,5x7 pulgadas (419x178 mm)
Calibradores de ajuste	Manual	Automático	Automático
Compresor de aire	Wabco, 15,2 cfm (0,43 m ³ /minuto)	Wabco, 15,2 cfm (0,43 m ³ /minuto)	Wabco, 15,2 cfm (0,43 m ³ /minuto)
Depósitos de aire	3582 pulgadas cúbicas (2 tanques) (58,7 litros)	5688 pulgadas cúbicas (3 tanques) (93,2 litros)	5688 pulgadas cúbicas (3 tanques) (93,2 litros)
Neumáticos	11R 22,5, 14PR	11R 22,5, 14PR	11R 22,5, 14PR
Peso nominal bruto del eje (GAWR)			
Delantero	12.000 libras (5,443 kg)	12.000 libras (5,443 kg)	12.000 libras (5,443 kg)
Trasero	23.000 libras (10,443 kg)	24.000 libras (10,886 kg)	40.000 libras (18144 kg)
Peso nominal bruto del vehículo (GCWR)	96.000 libras (43,545 kg)	80.000 libras (36,287 kg)	80.000 libras (36,287 kg)
Distancia entre ejes	110 pulgadas (2,794 mm)	110 pulgadas (2,794 mm)	146 pulgadas (3,708 mm)
Longitud general	181 pulgadas (4,597 mm)	181 pulgadas (4,597 mm)	244 pulgadas (6,198 mm)
Anchura general	97 pulgadas (2,464 mm)	97 pulgadas (2,464 mm)	97 pulgadas (2,464 mm)
Radio de giro	17 pies (5,2 m)	17 pies (5,2 m)	19.85 pies (6,1 m)
Capacidad de elevación del brazo de la quinta rueda	60.000 libras (27,216 kg)	60.000 libras (27,216 kg)	60.000 libras (27,216 kg)
Quinta rueda	FW 3500	FW 3500	FW 3500
Peso del chasis	14.500 libras (6,577 kg)	14.500 libras (6,577 kg)	18.000 libras (8,165 kg)

40' Gooseneck Chassis 3 Ejes

Funcion:

Transportar
Un Container de 40'
(maximo peso 75.000 lbsrs.)



ESPECIFICACIONES

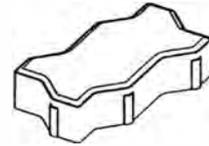
Largo: 40' 6"
Ancho: 96"
Ubicacion del Tandem: 54"
Ubicacion del King Pin: 30 1/2"
Maxima Altura Atras: 48"
Ancho de Rieles Principales: 40"
Vigas Principales: Seccion frontal Perfil fabricado tipo I, 19" de altura, alma 1/4" y tapas superior e inferior 1/2" y en la seccion posterior perfil fabricado tipo I de 14 1/2" de altura, alma de 1/4" y tapas superior e inferior de 1/2".
Vigas del Cuello de Ganzo: Viga tipo I-beam de 5" formada con alma de 1/2" y tapas superior e inferior de 1/2".
Travezanios: Perfil doblados en " U ".
Plancha Kin Pin: Plancha de 1/4" y refuerzos del king de 1/2".
Apoyo Frontal: Tipo Tubo 6 x 6" espesor 1/4" y refuerzos de 5/16" en los extremos.
Apoyo Posterior: Tipo Tubo de 8 x 8" tapa de 1/2".
Seguros para los Containers: ISO standards.
Guardachoque: Platina de 4 x 1/2" y Escalon Tubo 4 x 4" espesor 3/16".
Patatas: Tipo Binkley cuadradas de dos velocidades. 50.000 lbsrs capacidad dinamica y 140.000 lbsrs. Estatica; zapatones 10x10".
Suspension: Tipo Hutch 9700 de paquetes resortes cuatro hojas o Ampro con paquetes 11 hojas.

Ejes: Tres Ejes cuadrados tipo pro-par 5x5" con rodamientos HM518445 track 71.5", 49" centro entre ejes y 22.500 lbsrs.de capacidad.
Rodaje: Tambor 16 1/2 x 7" y Arania 20" de seis aspas; zapatas standard.
Lubricacion: Grasa EP-2.
Aros: 20 x 7.5" abiertos en el centro y Separadores 20 x 4".
Llantas: 10.00 x 20 con tubo y defenza.
Sistema Electrico: 12 voltios, acople de 7 pins cableado modular y luces tipo trucklite.
Sistema de Frenos: Neumatico con dos tanques, cuatro pulmones dobles y dos valvulas.
Pre paracion del Metal: Limpieza con chorro abrazivo y secado del metal.
Pintura: Primer 70% cromato de zing y capa final Sintetico.
Marcas: Placa características y logotipos del cliente.
Guardalodos: Plasticos emperrados al apoyo posterior.
Aceros y Pernos: Acero estructural de alta resistencia ASTM A36 y pernos grado 5.



FABRICACION - REPARACION - MANTENIMIENTO

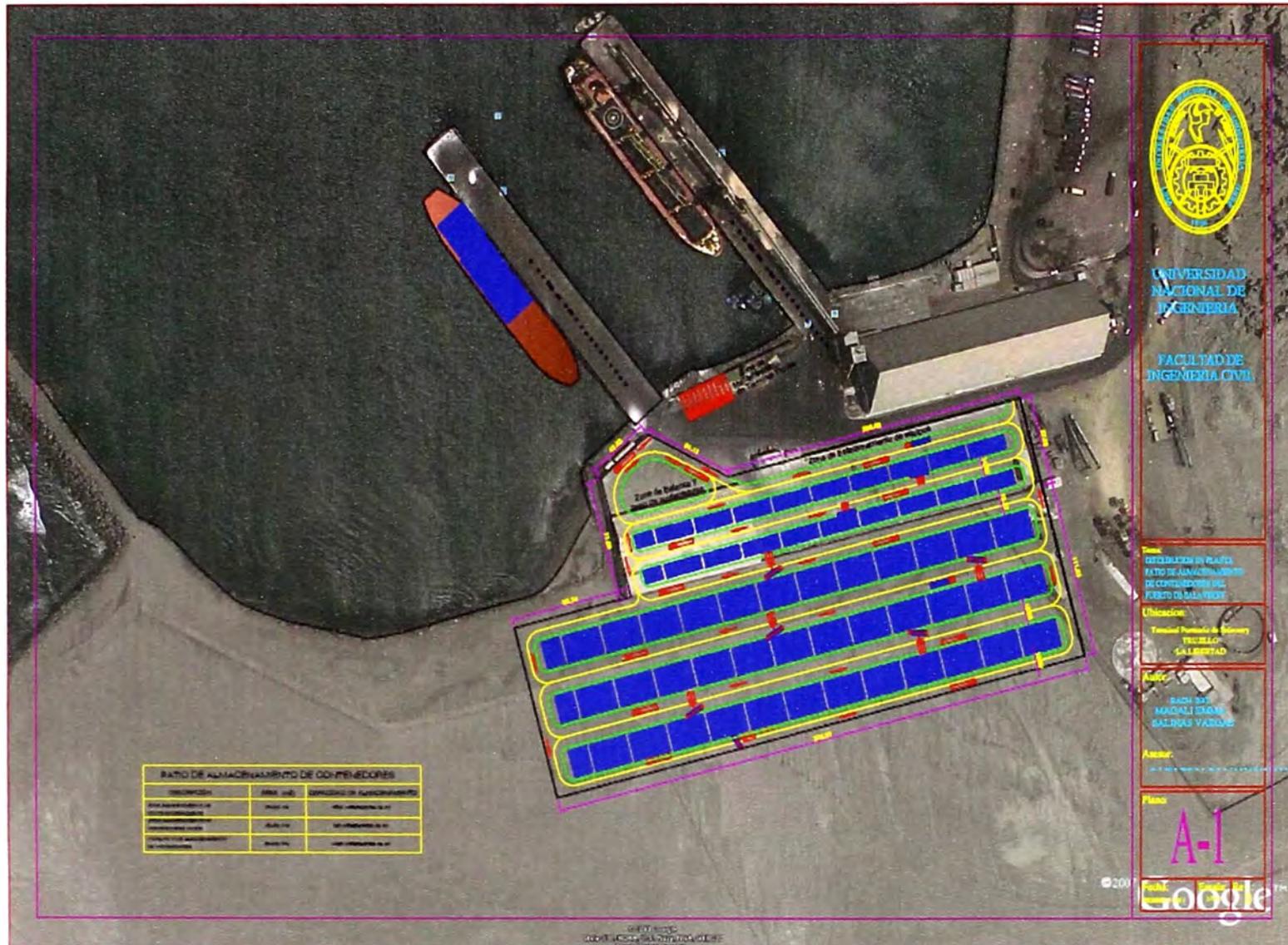
Km.27 Via Perimetral
Guayaquil - Ecuador
Telefax: (593-4) 2252 555
Cel: 093-448925
E-mail: ventas@mychassis.com
www.mychassis.com



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS "ADOKING"				
TIPO DE UNIDAD	ADOQUIN DE CONCRETO			
DIMENSIONES	RECTANGULAR O "HOLANDES"		ESTRIADO O "LONDRES"	
	ANCHO	10 cm	ANCHO	11.25 cm
	LARGO	20 cm	LARGO	22.50 cm
	ESPESOR	4, 6 y 8 cm	ESPESOR	4 y 6 cm
VARIACIÓN DIMENSIONAL	LARGO Y ANCHO < 1.6 mm ALTO < 3.2 mm			
ABSORCION	MENOR AL 5% DEL PESO SECO			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Tipo I = 31 Mpa (320 kg/cm ²) Espesor 4 y 6 cm Tipo II = 41 Mpa (420 kg/cm ²) Espesor 6 cm 37 Mpa (380 kg/cm ²) Espesor 8 cm			
DENSIDAD	MAYOR A 2100 kg/m ³			
PESO DE CADA UNIDAD	Espesor 4 cm = 1.8 Kg. Espesor 6 cm = 2.7 Kg. Espesor 8 cm = 3.6 Kg.			
RENDIMIENTO	50 Und/m ² RECTANGULAR O "HOLANDES" 40 Und/m ² ESTRIADO O "LONDRES"			
USOS Y APLICACIONES	PAVIMENTOS PEATONALES	4 y 6 cm.		
	VEHICULAR LIGERO	6 cm		
	VEHICULARES PESADOS	≥ 8 cm		
COLORES	GRIS / NATURAL ROJO, NEGRO, AMARILLO, GRIS CLARO, BEIGE, MARRON CLARO, VERDE Y OTROS A PEDIDO.			
NORMAS	TODAS LAS CARACTERÍSTICAS DEL ADOKING ESTAN DE ACUERDO A LA NORMA TECNICA PERUANA 399.611 "ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS, Requisitos.			

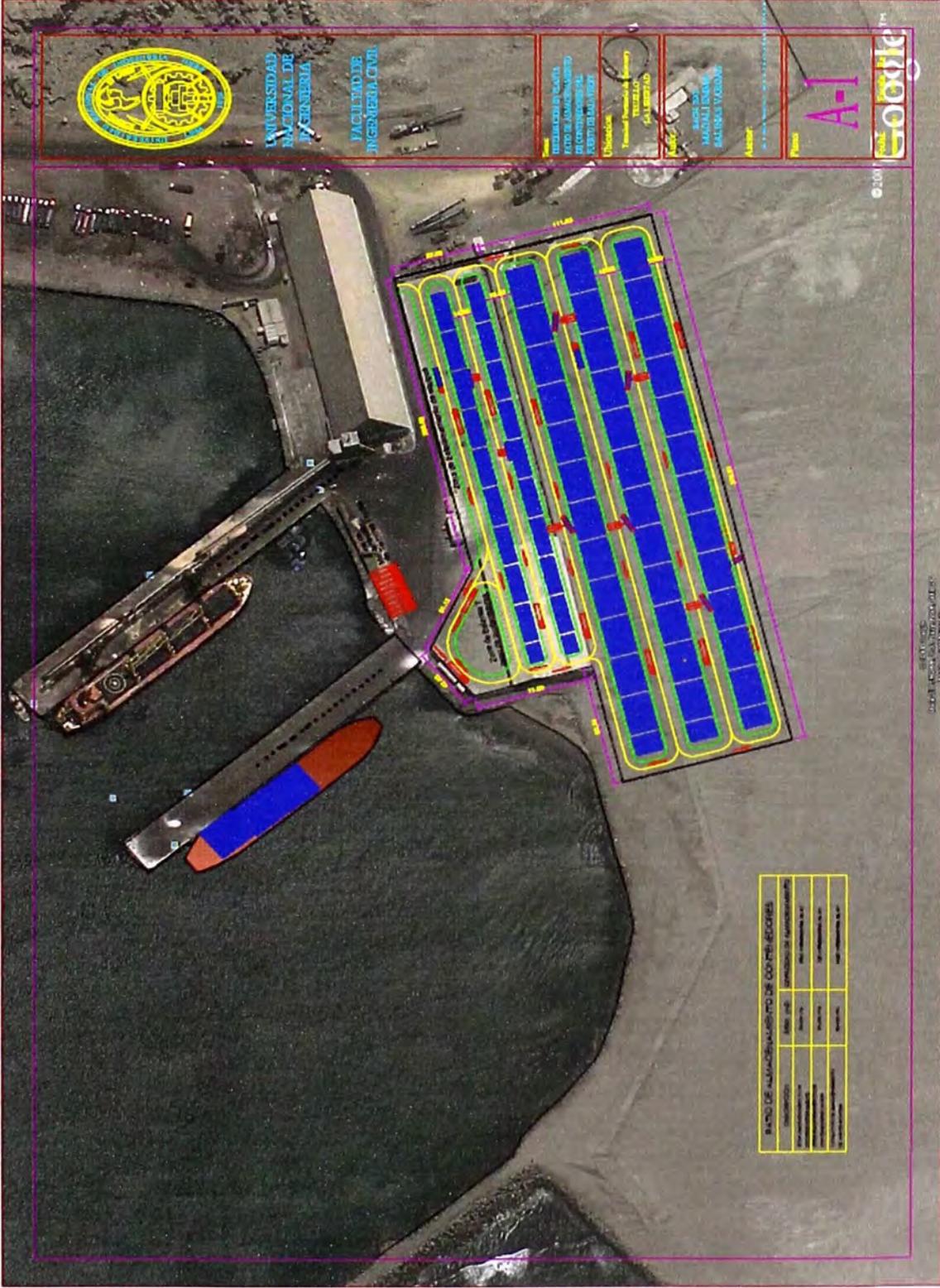
D. PLANOS DEL PATIO DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

Figura N° 07 - Esquema de distribución de contenedores en planta del patio de almacenamiento



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 07 - Esquema de distribución de contenedores en planta del patio de almacenamiento



ente: Elaboración nmnia



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
INGENIERIA

FACULTAD DE
INGENIERIA CIVIL

Tema:
DISTRIBUCION EN PLANTA
PATIO DE ALMACENAMIENTO
DE CONTENEDORES DEL
PUERTO DE SALAVERRY

Ubicación:
Terminal Portuario de Salaverry
TRUJILLO
LA LIBERTAD

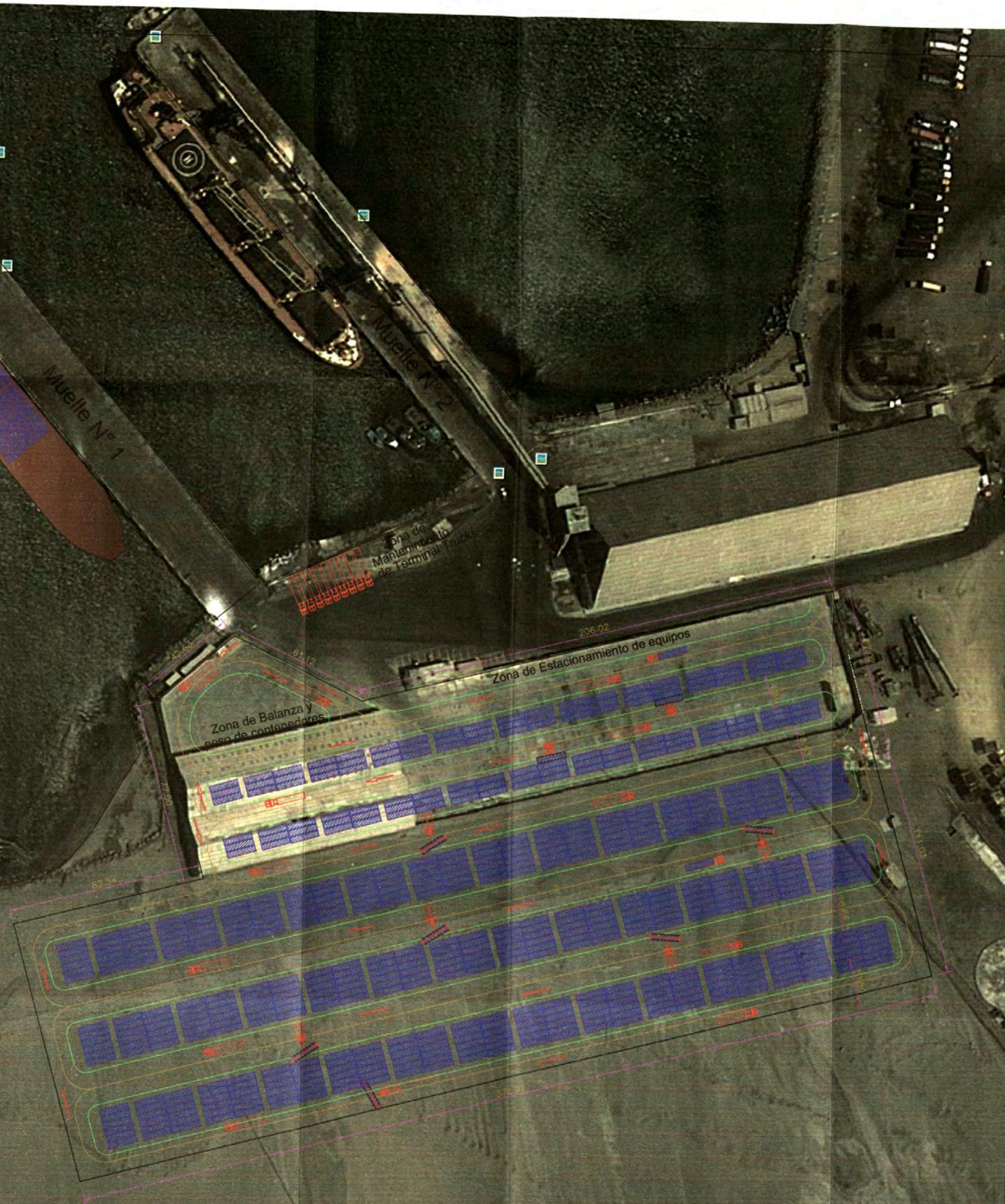
Autor:
BACH. ING.
MAGALI EMMA
SALINAS VARGAS

Asesor:
ING. LUIS DOMÍNGUEZ

Plano:

A-1

© 2007
Fecha: FEBRERO 2011 Escala: 1/500 Rev.: 0



PATIO DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

DESCRIPCIÓN	ÁREA (m2)	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO
ZONA ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES LLENOS	35,000 m2	3,600 contenedores de 40'
ZONA ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES VACIOS	25,000 m2	798 contenedores de 40'
TOTAL PATIO DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES	60,000 m2	4,398 contenedores de 40'



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
INGENIERIA

FACULTAD DE
INGENIERIA CIVIL

Tema:
DISTRIBUCION EN PLANTA
PATIO DE ALMACENAMIENTO
DE CONTENEDORES DEL
PUERTO DE SALAVERRY

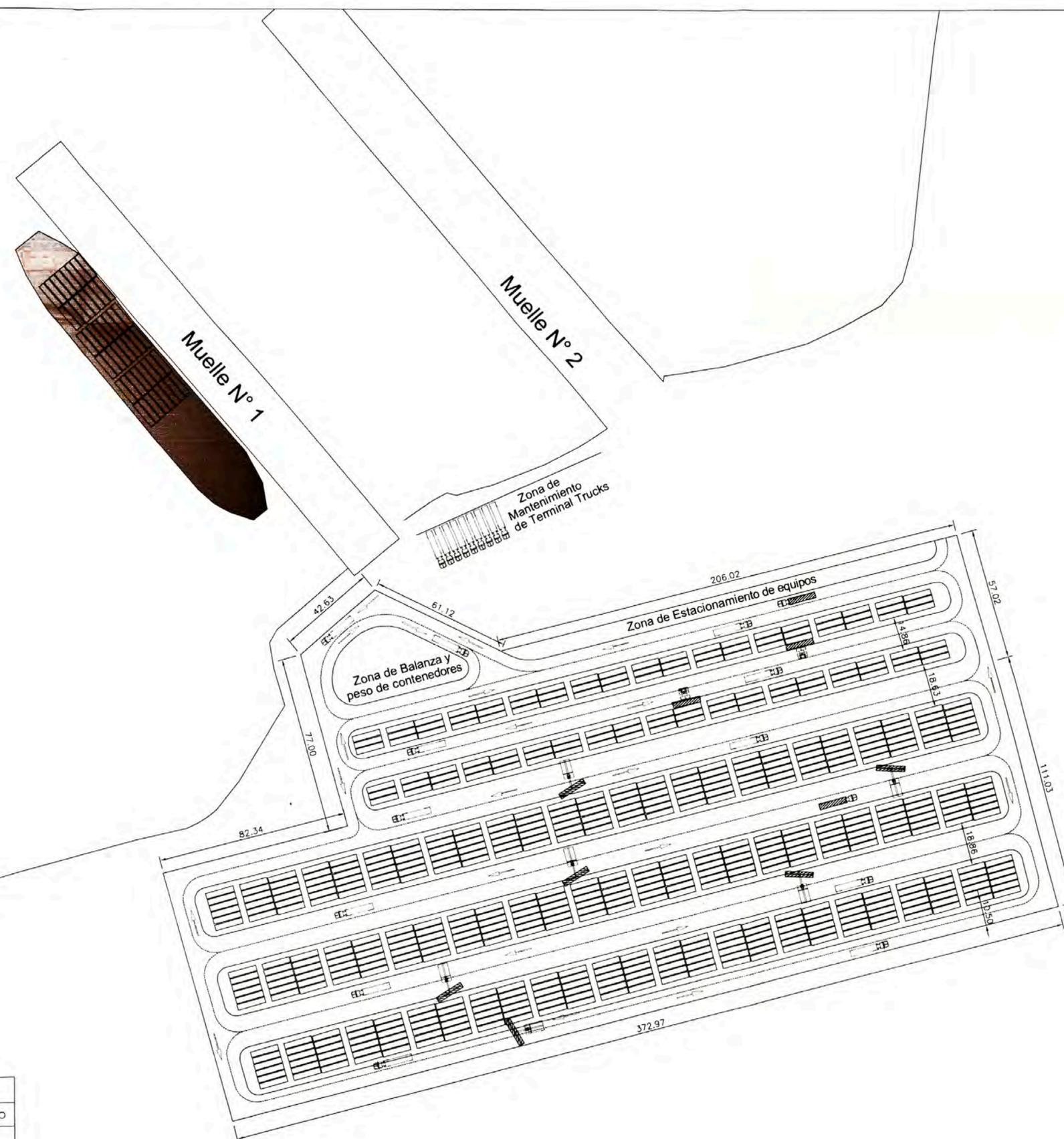
Ubicacion:
Terminal Portuario de Salaverry
TRUJILLO
LA LIBERTAD

Autor:
BACII ING
MAGALI EMMA
SALINAS VARGAS

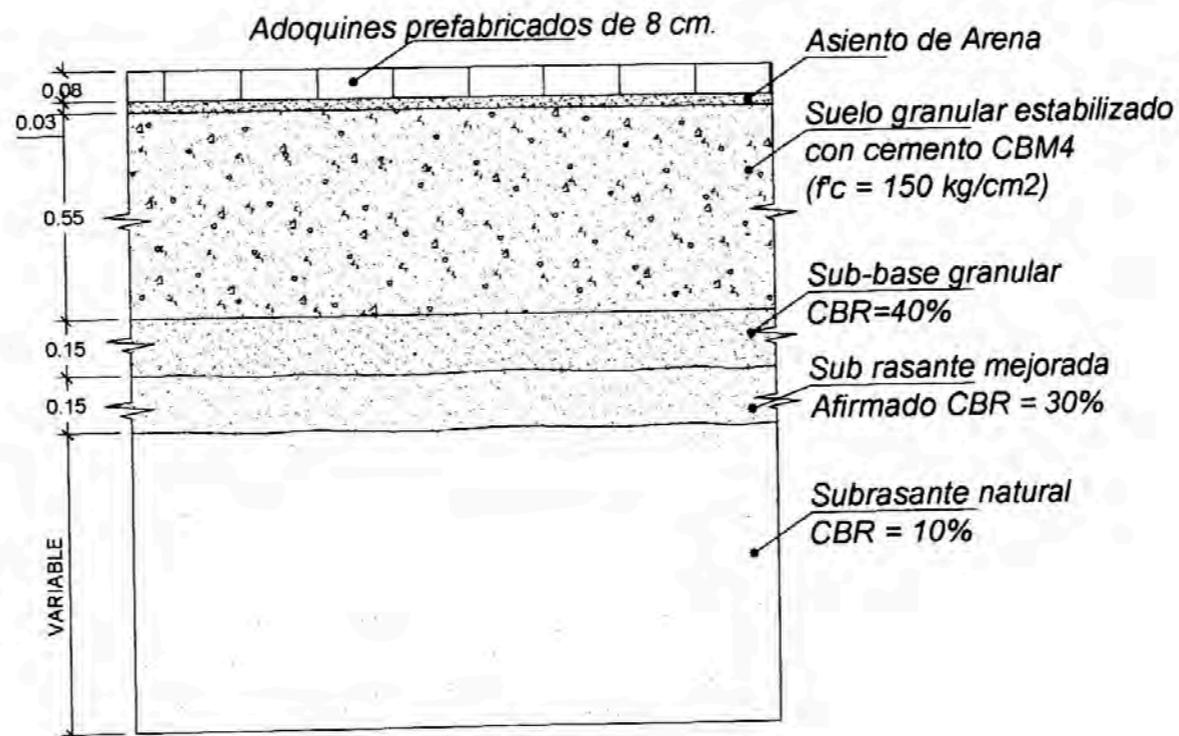
Asesor:
ING. LUIS DOMINGUEZ

Plano:
A-1

Fecha: FEBRERO 2011 Escala: 1:1500 Rev.: 0



PATIO DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES		
DESCRIPCIÓN	ÁREA (m ²)	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO
ZONA ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES LLENOS	35.000 m ²	3600 contenedores de 40'
ZONA ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES VACÍOS	25.000 m ²	798 contenedores de 40'
TOTAL PATIO DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES	60.000 m ²	4398 contenedores de 40'



DISEÑO DE PAVIMENTO

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

1. La capa del suelo estabilizado con cemento CBM4, de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ se compactará en dos capas de 0.20 m y una capa de 0.15 m, al 100% de grado de compactación de la MDS del Próctor Modificado.
2. La sub base será de material granular, de CBR = 40%, compactada en una sola capa de 0.15 m, al 98% de grado de compactación de la MDS del Próctor Modificado.
3. La sub rasante será mejorada con material granular de CBR = 30%, compactada en una sola capa de 0.15 m, al 95% de grado de compactación de la MDS del Próctor Modificado.

4. La superficie de rodadura será de adoquines de concreto de 10 x 20 x 8 cm, con resistencia a la compresión de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$.
5. La cama de arena para el asiento de los adoquines de concreto será máximo 3 cm de espesor. Estará conformada por arena limpia y se humedecerá antes de la colocación de los adoquines de concreto.
6. La arena de unión de los adoquines de concreto será arena fina y limpia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Tema:
SECCIÓN DE PAVIMENTO DEL PATIO DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES DEL PUERTO DE SALAVERRY

Ubicación:
Terminal Portuario de Salaverry
TRUJILLO
LA LIBERTAD

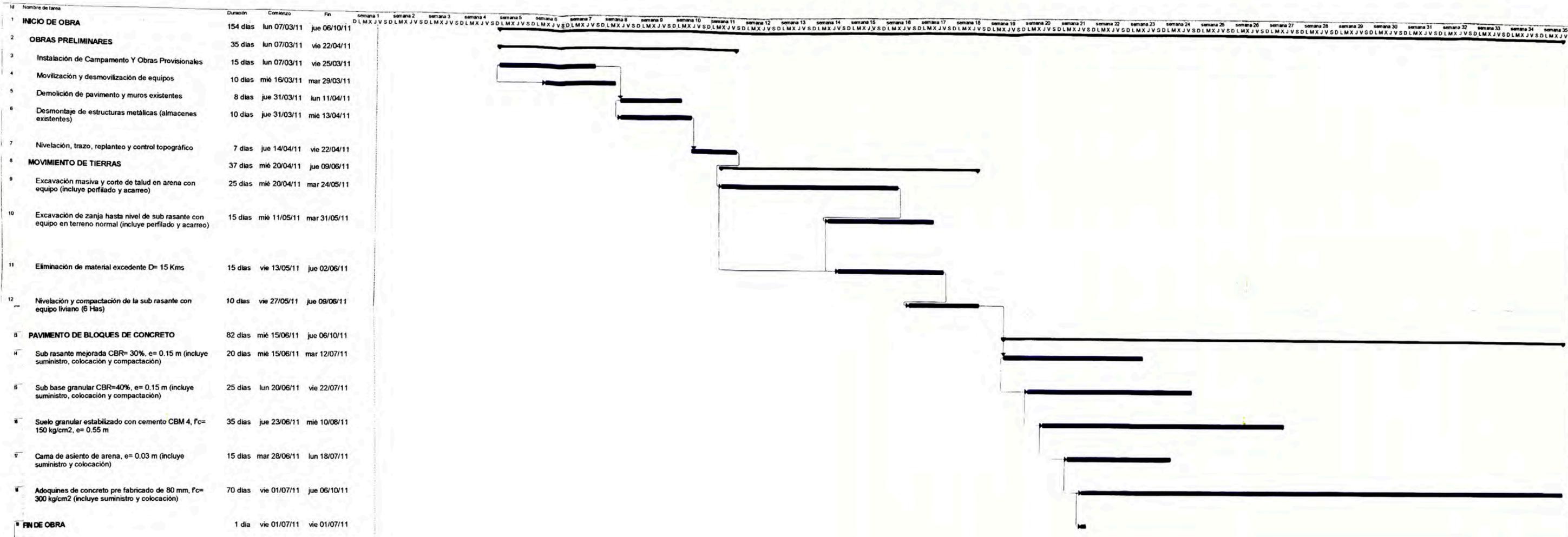
Autor:
BACH ING
MAGALI EMMA
SALINAS VARGAS

Asesor:
ING. LUIS DOMÍNGUEZ

Plano:
A-2

Fecha FEBRERO 2011	Escala 1:20	Rev 0
-----------------------	----------------	----------

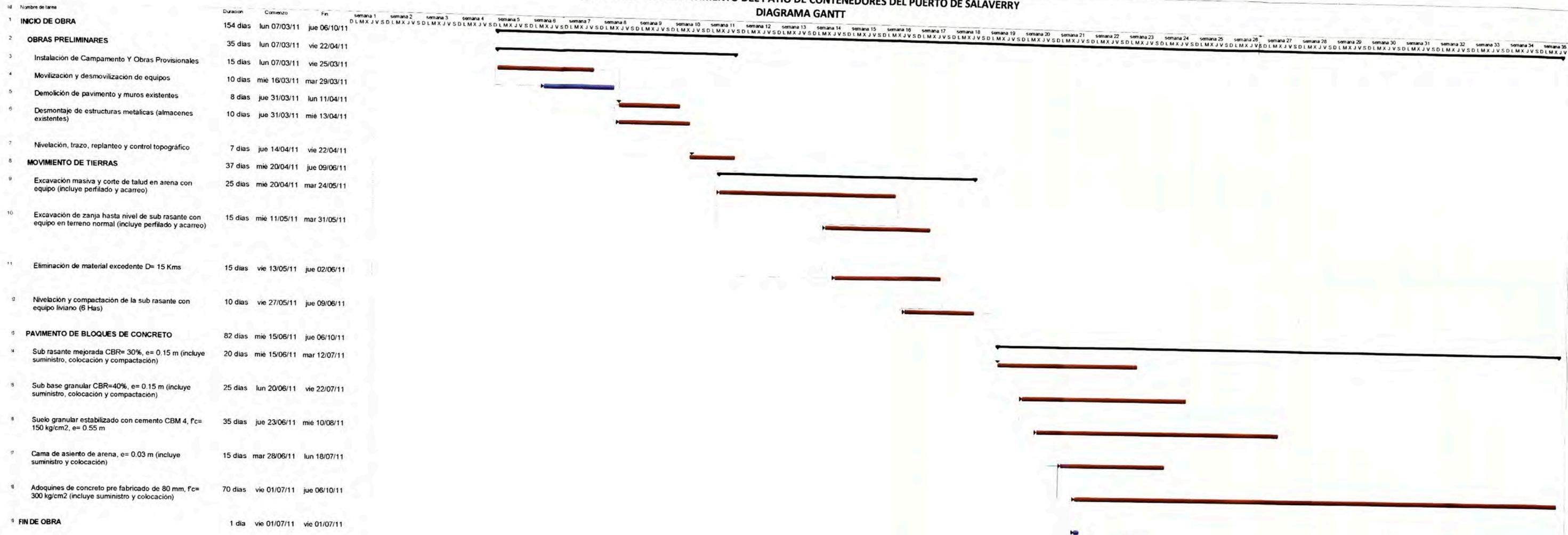
E. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE OBRA



- Tarea
- Division
- Hito
- Resumen
- Resumen del proyecto
- Tareas externas
- Hito externo
- Tarea inactiva
- Hito inactivo
- Resumen inactivo
- Tarea manual
- Solo duracion
- Informe de resumen manual
- Resumen manual
- Solo el comienzo
- Solo fin
- Progreso
- Fecha limite



CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO DEL PATIO DE CONTENEDORES DEL PUERTO DE SALAVERRY
DIAGRAMA GANTT

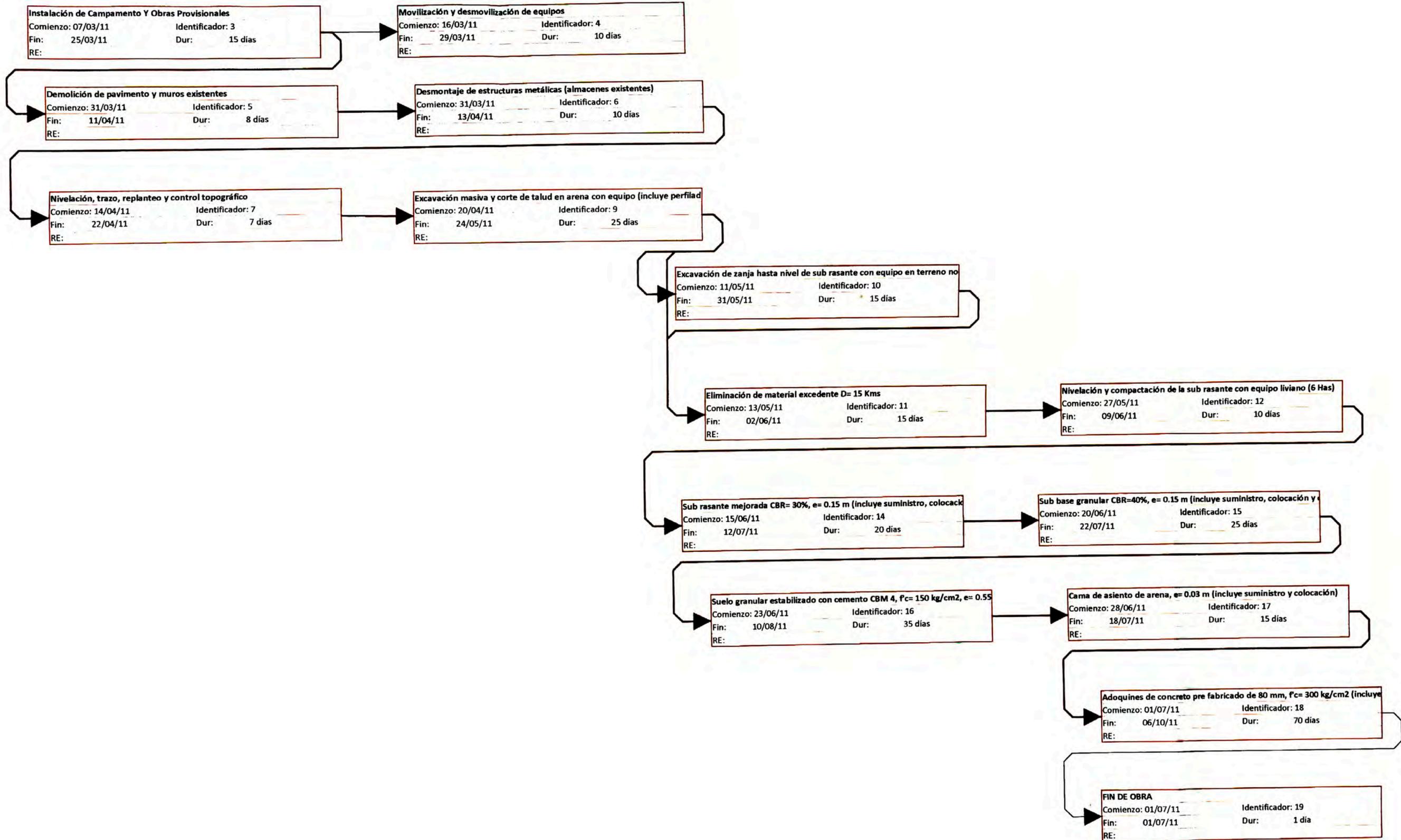


- Tarea
- Division
- Hito
- Resumen
- Resumen del proyecto
- Tareas externas
- Hito externo
- Tarea inactiva
- Hito inactivo
- Resumen inactivo
- Tarea manual
- Solo duracion
- Informe de resumen manual
- Resumen manual
- Solo el comienzo
- Solo fin
- Tareas criticas
- Division critica
- Progreso
- Fecha limite



Fecha Cronograma de obra Pavimen
 15/02/11

CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO DEL PATIO DE CONTENEDORES DEL PUERTO DE SALAVERRY DIAGRAMA DE RED



F. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO DEL PATIO DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

Caseta para Oficina y Almacén						
Glb/DIA	MO.	1.0000	EQ.	1.0000	Costo unitario directo por : Glb	8,231.85
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$	
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh	0.0500	0.4000	7.67	3.07	
OPERARIO	hh	0.5000	4.0000	6.13	24.52	
PEON	hh	0.5000	4.0000	4.64	18.56	
					46.15	
Equipos						
CONTENEDOR DE ALMACENES	glb		1.0000	4,000.00	4,000.00	
CONTENEDOR DE OFICINAS	glb		1.0000	4,000.00	4,000.00	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	46.15	138.45	
CAMION GRUA DE 6 Ton.(BRAZO ARTICULADO)	hm	0.2500	1.0000	47.25	47.25	
					8,185.70	

Servicios Higiénicos						
Glb/DIA	MO.	1.0000	EQ.	1.0000	Costo unitario directo por : Glb	328.59
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$	
Subcontratos						
Mantenimiento de Servicios Higiénicos	und		3.0000	9.95	29.85	
SERVICIOS DE BAÑOS HIGIENICOS PORTATILES	und		3.0000	99.58	298.74	
					328.59	

MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS

Glb/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	Costo unitario directo por : Glb	18,156.05
----------------	-------------------	-------------------	---	------------------

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$
Mano de Obra					
OPERADOR DE EQUIPO PESADO	hh	6.0000	48.0000	6.13	294.24
PEON	hh	4.0000	32.0000	4.78	152.96
					447.20
Materiales					
VIAJE TERRESTRE (EN SEMITRAYLER)	vje		8.0000	1,425.00	11,400.00
					11,400.00
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		2.0000	442.72	8.85
CAMION 4 ton	hm	20.0000	160.0000	15.75	2,520.00
CAMION GRUA DE 6 Ton.(BRAZO ARTICULADO)	hm	10.0000	80.0000	47.25	3,780.00
					6,308.85

DEMOLICIÓN DE PAVIMENTOS Y MUROS EXISTENTES

m3/DIA	MO. 12.0000	EQ. 12.0000	Costo unitario directo por : m3	39.78
---------------	--------------------	--------------------	--	--------------

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$
Mano de Obra					
CAPATAZ "A"	hh	0.1000	0.0667	7.67	0.51
OFICIAL	hh	2.0000	1.3333	5.54	7.39
PEON	hh	4.0000	2.6667	4.78	12.75
					20.65
Materiales					
BARRENO 5'X1/8"	und		0.0010	145.54	0.15
					0.15
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	20.65	1.03
MARTILLO NEUMATICO DE 29 kg	hm	2.0000	1.3333	1.56	2.08
COMPRESORA NEUMATICA 250 - 330 PCM - 87 HP	hm	1.0000	0.6667	23.81	15.87
					18.98

EXCAVACIÓN DE ZANJA HASTA SUB BASE C/EQUIPO EN TERRENO NORMAL (INCL. PERFILADO Y ACARREO)						
Rendimiento m3/día	MO. 220.0000		EQ. 220.0000		Costo unitario directo por m3:	7.39
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$	
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh	0.3000	0.0136	7.62	0.10	
PEON	hh	3.0000	0.1364	4.78	0.65	
					0.75	
Materiales						
MATERIALES CONSUMIBLES	%MO		3.00%	0.75	0.02	
					0.02	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00%	0.75	0.02	
VOLQUETE 15 M3	he	2.0000	0.09	50.00	4.55	
RETROEXCAVADORA	he	1.0000	0.05	45.00	2.05	
					6.62	

ELIMINACIÓN DE MATERIALES EXCEDENTES D= 15 KMS						
m3/DIA	MO. 250.0000		EQ. 250.0000		Costo unitario directo por : m3	5.90
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$	
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh	0.1000	0.0032	7.67	0.02	
PEON	hh	3.0000	0.0960	4.64	0.45	
					0.47	
Materiales						
MATERIALES CONSUMIBLES	%EQ		5.0000	7.19	0.36	
					0.36	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.47	0.02	
CAMION VOLQUETE 15 m3	hm	2.0000	0.0640	50.00	3.20	
CARGADOR FRONTAL 2 1/2" yd3	hm	1.0000	0.0320	57.75	1.85	
					5.07	

NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN						
m2/DIA	MO. 120.0000	EQ. 120.0000	Costo unitario directo por : 2.83 m2			
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$	
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh	0.1000	0.0067	7.62	0.05	
OPERARIO	hh	1.0000	0.0667	6.13	0.41	
PEON	hh	2.0000	0.1333	4.78	0.64	
					1.10	
Materiales						
MATERIALES CONSUMIBLES	%EQ		5.0000	0.28	1.40	
					1.40	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	1.08	0.05	
VIBROAPISONADOR	hm	1.0000	0.0667	4.20	0.28	
					0.33	

SUB RASANTE MEJORADA CON AFIRMADO, CBR = 30%, E = 0.15 M (INCLUYE SUMINISTRO, COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN)						
Rendimiento m3/día	MO. 240.0000	EQ. 240.0000	Costo unitario directo por m3: 23.85			
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$	
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh	0.1000	0.0033	7.62	0.03	
OFICIAL	hh	1.0000	0.0330	5.54	0.18	
PEON	hh	4.0000	0.1333	4.78	0.64	
					0.85	
Materiales						
AFIRMADO PARA SUB RASANTE	m3		1	17.90	17.90	
					17.90	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		3.00%	0.85	0.03	
CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 122HP 2000	hm	1.0000	0.0333	55.00	1.83	
RODILLO LISO VIBRAUTOP 101-135HP 10-12T	hm	1.0000	0.0333	51.50	1.71	
MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.0000	0.0333	45.80	1.53	
					5.10	

SUB BASE DE MATERIAL GRANULAR, CBR = 20%, E = 0.15 M (INCLUYE SUMINISTRO, COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN)					
Rendimiento m3/día	MO. 240.0000	EQ. 240.0000	Costo unitario directo por m3: 25.95		
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$
Mano de Obra					
CAPATAZ	hh	0.1000	0.0033	7.62	0.03
OFICIAL	hh	1.0000	0.0330	5.54	0.18
PEON	hh	4.0000	0.1333	4.78	0.64
					0.85
Materiales					
AFIRMADO PARA SUB BASE	m3		1	20.00	20.00
					20.00
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		3.00%	0.85	0.03
CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 122HP 2000	hm	1.0000	0.0333	55.00	1.83
RODILLO LISO VIBRAUTOP 101-135HP 10-12T	hm	1.0000	0.0333	51.50	1.71
MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.0000	0.0333	45.80	1.53
					5.10

SUELO GRANULAR TIPO CBM4, f'c = 150 kg/cm2, E = 0.55 M (INCLUYE SUMINISTRO, COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN)					
Rendimiento m3/día	MO. 240.0000	EQ. 240.0000	Costo unitario directo por : 38.10		
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$
Mano de Obra					
CAPATAZ	hh	0.1000	0.0033	7.62	0.03
OFICIAL	hh	1.0000	0.0330	5.54	0.18
PEON	hh	4.0000	0.1333	4.78	0.64
					0.85
Materiales					
AFIRMADO PARA BASE CBR > 40%	m3		1	25.00	25.00
CEMENTO PORTLAND TIPO 1 (42.5 Kg)	BOL		1.106	6.45	7.13
					32.13
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		3.00%	0.85	0.03
CAMION CISTERNA 4x2 (AGUA) 122HP 2000	hm	1.0000	0.0333	55.50	1.85
RODILLO LISO VIBRAUTOP 101-135HP 10-12T	hm	1.0000	0.0333	51.50	1.71
MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.0000	0.0333	45.80	1.53
					5.12

CAMA DE ARENA, E = 0.03 M (INCLUYE SUMINISTRO Y COLOCACIÓN)						
m2/DIA	MO. 250.0000	EQ. 250.0000	Costo unitario directo por : m2		2.24	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$	
Mano de Obra						
OPERADOR DE EQUIPO PESADO	hh	0.5000	0.0160	6.13	0.10	
CAPATAZ	hh	0.1000	0.0032	7.67	0.02	
OPERARIO	hh	1.0000	0.0320	6.13	0.20	
OFICIAL	hh	1.0000	0.0320	5.50	0.18	
PEON	hh	2.0000	0.0640	4.64	0.30	
					0.80	
Materiales						
ARENA FINA	m3		0.0180	16.80	0.30	
TRANSPORTE DE AGUA	m3		0.0024	3.41	0.01	
					0.31	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.80	0.04	
CARGADOR FRONTAL 2 1/2" yd3	hm	0.5000	0.0160	57.75	0.92	
PLANCHA COMPACTADORA	hm	1.0000	0.0320	5.25	0.17	
					1.13	

ADOQUINES DE CONCRETO DE 200X100X80 MM (INCLUYE SUMINISTRO Y COLOCACIÓN)						
Rendimiento m2/dia	MO. 100.0000	EQ. 100.0000	Costo unitario directo por m2 :		18.05	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$	
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh	0.1000	0.0080	7.62	0.06	
OFICIAL	hh	1.0000	0.0800	5.54	0.44	
PEON	hh	2.0000	0.1600	4.78	0.76	
					1.26	
Materiales						
ARENA GRUESA	m3		0.05	18.06	0.90	
BLOQUE DE CONCRETO(80*100*200)	m2		1.05	12.00	12.60	
CEMENTO PORTLAND TIPO 1 (42.5 Kg)	BOL		0.5	6.45	3.23	
					16.73	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		5.00%	1.26	0.06	
					0.06	