

**EVALUACIÓN Y DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS PARA UN  
TERMINAL MARÍTIMO**



**LAURA CAROLINA DUARTE MENESES**

**DIEGO ALEXIS ROJAS HERRERA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2010**

**EVALUACIÓN Y DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS PARA UN  
TERMINAL MARÍTIMO**

**LAURA CAROLINA DUARTE MENESES  
DIEGO ALEXIS ROJAS HERRERA**

**Proyecto de Grado presentado como requisito parcial para optar el título de  
Ingeniero Civil**

**Director:  
EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN  
INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2010**

*A Dios y a mi familia por ser la inspiración  
Y esperanza de mis sueños.*

*A mis padres Evelia y Omar por apoyarme,  
Amarme y creer siempre en mí.*

*A mi hermana Karen por su apoyo y  
Motivación para alcanzar esta meta.*

*A Crísthian por su cariño, amor y compañía  
En cada etapa realizada.*

*A mis amigos por los mil momentos y experiencias  
Compartidas que guardo en el corazón.*

*Laura Carolina Duarte Meneses*

*Dedico esta investigación, primero que todo  
A Dios por darme tantas bendiciones a lo largo*

*De estos 5 años.*

*A mis Padres que con su amor y enseñanza me  
Ayudaron al cumplimiento de este logro.*

*A mis Hermanos que me apoyaron y brindaron alegría  
Fortaleciéndome en los buenos y malos momentos.*

*A mi familia y amigos que creyeron en mí  
Para la realización de este proyecto.*

*Diego Alexis Rojas Herrera*

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	17
1. OBJETIVOS .....	18
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
2. GENERALIDADES.....	19
2.1 DEFINICIONES .....	19
2.2 TIPOS DE PUERTOS.....	22
2.3 ACTIVIDADES PORTUARIAS.....	23
2.4 USOS DE LAS SUPERFICIES TERRESTRES PORTUARIAS.....	24
3. ESTUDIO DE CARGAS .....	25
3.1 CARGAS DE ALMACENAMIENTO .....	25
3.2 CARGAS DE MANIPULACION .....	26
3.3 CARGAS DE TRÁFICO PESADO CONVENCIONAL.....	30
4. TIPOS DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO.....	31
4.1 PAVIMENTO FLEXIBLE.....	31
4.2 BLOQUES DE CONCRETO .....	34
4.3 PAVIMENTOS DE CONCRETO RÍGIDO .....	36
4.4 RECOMENDACIÓN GENERAL PARA TERMINALES MARÍTIMOS.....	39
5. FUNDAMENTOS TEORICOS DEL DIMENSIONAMIENTO .....	40
5.1 MÉTODO DE LA BPA (BRITISH PORT ASSOCIATION).....	40
5.1.1 FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO.....	40

5.1.2	CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS PARA LOS EQUIPOS DE MANIPULACIÓN.....	41
5.1.3	PROCEDIMIENTO DE DIMENSIONAMIENTO .....	42
5.2	MÉTODO MECANÍSTICO .....	47
5.2.1	CRITERIOS DE DISEÑO.....	47
6.	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN Y DISEÑO EN EL TERMINAL MARÍTIMO DE SANTA MARTA .....	49
6.1	INFORMACION GENERAL TERMINAL MARITIMO DE SANTA MARTA .....	49
6.1.1	UBICACIÓN.....	49
6.1.2	INSTALACIONES DEL TERMINAL .....	50
6.1.3	GEOLOGÍA DE LA REGIÓN .....	50
6.1.4	SISMICIDAD DEL ENTORNO .....	51
6.1.5	CLIMA.....	51
6.2	PARÁMETROS DE DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO.....	52
6.2.1	ESTUDIO DE SUELOS .....	52
6.2.2	TIPIFICACIÓN DE CARGAS .....	55
6.2.3	DISTRIBUCIÓN DE CARGAS .....	64
6.3	DIMENSIONAMIENTO CON EL MÉTODO DE LA BPA.....	65
6.3.1	VÍAS DE CIRCULACIÓN .....	65
6.3.2	DIMENSIONAMIENTO DE PATIOS .....	71
6.3.3	PATIO 1 - 1A – 2 .....	72
6.3.4	PATIO 3, CENTRO .....	73
6.3.5	PATIO 4 – 5 – ANCÓN .....	73
6.4	DIMENSIONAMIENTO POR EL MÉTODO MECANÍSTICO .....	74

6.5	RESULTADOS OBTENIDOS .....	78
7.	DISEÑO DE JUNTAS Y PASADORES DE CARGA PARA PAVIMENTO RÍGIDO	81
7.1	Diseño de Juntas .....	82
7.2	Diseño de dovelas .....	82
8.	EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LOS PAVIMENTOS DE SANTA MARTA .....	85
	CONCLUSIONES .....	95
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	96
9.	ANEXOS .....	97

## LISTADE FIGURAS

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE CARGAS – CARGADOR FRONTAL .....	27
FIGURA 2. CARGADOR LATERAL.....	28
FIGURA 3. GRÚA AUTOMOVIL.....	29
FIGURA 4. SEMIRREMOLQUE.....	29
FIGURA 5. COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES....	31
FIGURA 6. ESPESOR HORMIGÓN H10 (MM) .....	45
FIGURA 7. ESPESOR HORMIGÓN H10 (2) .....	46
FIGURA 8. CLIMA CIUDAD DE SANTA MARTA .....	51
FIGURA 9. GRÚA LIEBERGH.....	56
FIGURA 10. GRÚA P&H.....	57
FIGURA 11. REACH STEAKER .....	57
FIGURA 12. TOP LOADER .....	58
FIGURA 13. CARGADOR 992 G .....	59
FIGURA 14. CARGADOR 980 H .....	59
FIGURA 15. CARGADOR 966 G .....	60
FIGURA 16. ELEVADOR KALMAR .....	60
FIGURA 17. GRÚA PÓRTICO.....	61
FIGURA 18. GRÚA DE TIERRA EN CARGA Y DESCARGA DE CARBÓN.....	61
FIGURA 19. CAMIÓN C2 .....	62
FIGURA 20. CAMIÓN C3S2.....	63
FIGURA 21. CAMIÓN C3S3.....	63
FIGURA 22. NIÑERAS .....	63

FIGURA 23. TRAILER TAYLOR.....	64
FIGURA 24. VOLTEOS .....	64
FIGURA 25. MODELAMIENTO EVERSTRESS (1).....	75
FIGURA 26. MODELAMIENTO EVERSTRESS (2).....	76
FIGURA 27. MODELAMIENTO EVERSTRESS (3).....	76
FIGURA 28. GRIETA EN BLOQUE (1).....	87
FIGURA 29. GRIETA EN BLOQUE (2).....	87
FIGURA 30. GRIETA EN POZOS DE ALCANTARILLADOS .....	88
FIGURA 31. LOSAS DESTROZADAS.....	89
FIGURA 32. DESINTEGRACIÓN .....	90
FIGURA 33. GRIETAS TRANSVERSALES.....	91
FIGURA 34. GRIETAS DE ESQUINA.....	91
FIGURA 35. DESPORTILLAMIENTO DE JUNTAS .....	93

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. FACTORES DE CARGA DINÁMICA.....	42
TABLA 2. ESPESORES DE EXPLANADA Y SUBBASE.....	43
TABLA 3. FACTOR DE PROXIMIDAD .....	43
TABLA 4. TASA DE CRECIMIENTO .....	66
TABLA 5. COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO.....	66
TABLA 7. TRÁFICO ESPERA .....	67
TABLA 8. COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO – ZONA DE PATIOS.....	72
TABLA 9. RESULTADOS MODELAMIENTO .....	77

## RESUMEN

TITULO<sup>\*</sup>: EVALUACIÓN Y DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS PARA UN TERMINAL MARITIMO

AUTORES<sup>\*\*</sup>: LAURA CAROLINA DUARTE MENESES

DIEGO ALEXIS ROJAS HERRERA

PALABRAS CLAVES: Terminal Marítimo, Cargas, Tráfico Promedio Diario (TPD), Pavimento, Esfuerzo, Dimensionamiento, Evaluación.

### DESCRIPCION:

El Tráfico Marítimo Colombiano está en un continuo crecimiento, debido principalmente a la posición geográfica en la que se encuentra el país y a su cercanía con el Canal de Panamá. Es por esto que las condiciones de operación de los Puertos Marítimos deben ser óptimas y con la mejor tecnología posible.

El buen estado del pavimento en todas las zonas del Puerto, es indispensable para el correcto desarrollo de las actividades diarias del terminal marítimo, por lo cual es necesario realizar una evaluación de las condiciones de operación de los diferentes tipos de pavimentos. Para esto, se recopilan datos tomados en campo, se establece el tipo, la descripción, causas, posible reparación del daño y si es el caso el dimensionamiento de la estructura misma.

El diseño de pavimentos como los de Aeropuertos y Puertos Marítimos son de especial cuidado, debido a la magnitud e intensidad de las cargas que se manejan, la alta temperatura y las bajas velocidades de operación, por lo cual se recomienda la utilización de métodos que den cobertura a estas condiciones.

EL método de la Asociación Británica De Puertos (BPA), es utilizado generalmente en los países Europeos y comprende aspectos que deben ser tenidos en cuenta por el proyectista como: características de los equipos de manipulación, cargas transmitidas en orden de trabajo, uso de cada uno de ellos durante la vida del proyecto (TPD) y características superficiales exigibles. Los métodos Mecánicos también generan confiabilidad ya que permiten analizar los esfuerzos admisibles en cada capa de la estructura y pueden ser empleados para el dimensionamiento de este tipo de proyectos.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ing. Eduardo Alberto Castañeda.

## ABSTRACT

TITLE<sup>\*</sup>: EVALUATION AND DESIGN OF THE PAVEMENT FOR OFFSHORE TERMINAL.

AUTHOR<sup>\*\*</sup>: LAURA CAROLINA DUARTE MENESES  
DIEGO ALEXIS ROJAS HERRERA

KEYWORDS: Maritime Terminal, Loads, Average Daily Traffic (ADT), Pavement, stress, sizing, Evaluation.

### DESCRIPTION:

The Colombian Maritime Traffic is in continuous growth, mainly due to the geographical position in which the country finds and its proximity to the Panama Canal. That is why the operating conditions of seaports should be optimal and the best possible technology.

The condition of the pavement in all areas of the port is essential for the proper conduct of daily activities of the shipping terminal, which is necessary for an assessment of the conditions of operation of different types of pavements. For this, taken in the field collecting data, identifying the type, description, causes, damage, possible repair and if necessary the design of the structure itself.

The design of pavements such as airports and seaports are of special concern, given the magnitude and intensity of the loads handled, high temperature and low operating speeds, so it is recommended to use methods that would give coverage to these conditions.

The method of the British Ports Association (BPA) is generally used in European countries and includes aspects that must be taken into account by the designer as: characteristics of handling equipment, loads transmitted in working order, use of each one of them during the life of the project (TPD) and surface characteristics due. Mechanistic methods also generate reliability because they permit analyzing the permissible stresses in each layer of the structure and can be used for the design of such projects.

---

<sup>\*</sup> Thesis

<sup>\*\*</sup> Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Civil Engineering School. Director Eduardo Castañeda

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo y ejecución de las obras civiles requiere de un amplio conocimiento sobre cada una de las especificaciones y solicitudes que van dentro de un proyecto de ingeniería. Los proyectos pueden ir desde el diseño de una edificación pequeña hasta la construcción de grandes estructuras que requieren un estudio minucioso y detallado que permita cumplir adecuadamente con el objetivo para el cual fue diseñada, poniendo además a prueba los avances de la ingeniería para lograr con eficiencia la ejecución de dichas obras.

Algunos tipos de estructuras como aeropuertos, terminales terrestres y puertos marítimos son de especial cuidado ya que su construcción depende de parámetros que varían significativamente de otros proyectos tradicionales y donde es necesaria la aplicación de conocimientos técnicamente avanzados, por consiguiente, dada la complejidad de cada tipo de estructuras, este proyecto se enfocará en el estudio, análisis y diseño de los pavimentos para condiciones de operación portuarias

# 1. OBJETIVOS

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Crear un Manual de Pavimentos para terminales marítimos, con el fin de mejorar la calidad de los mismos dando un aporte técnico e investigativo aplicable a la construcción de este tipo de estructuras en el país.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar la magnitud de las cargas específicas de un terminal marítimo teniendo en cuenta las diferentes zonas de operación del mismo.
- Establecer un procedimiento para dimensionar los diferentes tipos de pavimentos, teniendo en cuenta las solicitudes requeridas, especificaciones técnicas y recomendaciones para obras marítimas (ROM).
- Lograr que nuestro proyecto sea un aporte para dar inicio a una futura línea de investigación que permita finalmente desarrollar e implementar un Manual para el Diseño de Puertos Colombianos.

## 2. GENERALIDADES

### 2.1 DEFINICIONES

*Adoquín Prefabricado de hormigón:* Pieza prefabricada de hormigón que puede colocarse a mano para construir un pavimento.

*Base:* Capa de la estructura de un pavimento que se encuentra debajo de la capa asfáltica.

*Carga:* Fuerza que genera estados tensionales, esfuerzos o deformaciones en una estructura o un elemento estructural, en particular en cualquiera de las capas de un pavimentos o en el apoyo mismo.

*Carga Dinámica:* Carga cuya actuación genera aceleraciones significativas en la estructura o elementos estructurales.

*Carga Estática:* Carga que no genera aceleraciones significativas en la estructura o elementos estructurales. Para efecto del dimensionamiento de los pavimentos, y salvo que se especifique lo contrario, las cargas se consideran estáticas.

*Cargador Frontal:* Equipo de circulación no restringida que se emplea para el traslado de mercancía general y de contenedores con ruedas de neumáticos gemelas en el eje frontal y simple en el eje trasero. (ReachStaker TEC 950L)

*Cargador Lateral:* Equipo de circulación no restringida que se emplea para el traslado de contenedores y en el momento de cargar o descargar se apoya sobre bases en metal. (Liebergh LHM 1300 HDVG)

*Contenedor:* Cavidad paralelepípedo de dimensiones estandarizadas en cuyo interior se colocan mercancías de tipo general.

*Dimensionamiento:* Proceso al final del cual se determina la composición y espesores de cada capa de una sección de pavimento.

*Eje Tándem:* Conjunto de dos ejes de un vehículo que constituyen un solo apoyo del chasis.

*Eje Triple:* Conjunto de tres ejes de un vehículo que constituyen un solo apoyo del chasis.

*Grúa:* Equipo de manipulación de mercancías por elevación.

*Grúa de Tierra:* Grúa montada sobre neumáticos capaz de desplazarse sin restricciones por toda una superficie.

*Grúa pórtico o grúa de muelle:* Grúa capaz de desplazarse longitudinalmente sobre carriles a lo largo del muelle, en dirección paralela al borde costero, pudiendo girar su eje vertical de forma completa.

*Hormigón armado:* Es el tipo de hormigón que lleva mallas electrosoldadas o barras de acero para resistir las tracciones.

*Mercancía General:* Producto transportado bajo el aspecto de material apilado, envasado o empaquetado (en sacos, cajas, barriles, lingotes, rollos, balas, etc.) y manipulado de forma discontinua individual o unitariamente.

*Norma Técnica:* Documento donde se definen los procedimientos y requisitos a que se debe ajustarse un determinado producto o trabajo.

*Obra:* Todos los trabajos y suministros especificados, diseñados, mostrados o contemplados en un proyecto, incluyendo todas las variaciones, correcciones o extensiones por modificaciones del contrato.

*Pavimento:* Estructura resistente formada por una o varias capas superpuestas sobre una explanada para soportar el paso de los vehículos.

*Pavimento Rígido:* Es aquel pavimento que no experimenta deflexiones apreciables bajo la carga de tráfico; habitualmente está formado por una losa o carpeta de hormigón apoyado sobre otras capas o directamente sobre la explanada, pudiendo ser dicho hormigón compactado con rodillo o vibrado, en masa o armado y en este último caso con barras o con fibras.

*Proyecto:* Son las distintas etapas que van desde la concepción hasta la materialización de una obra civil, complejo industrial o programa de desarrollo de las más diversas áreas. Los temas tratados en este tienen relación con la construcción de una obra, la cual queda definida físicamente a través del estudio de ingeniería de pavimentos.

*Subbase:* Capa de la estructura de un pavimento que se encuentra bajo la base.

*Slurry:* Mortero bituminoso con consistencia de lechada, compuesta de un árido con granulometría seleccionada, finos minerales y emulsión bituminosa estable.

*TPD:* Transito Promedio Diario.

*Vía de Comunicación:* Zonas destinadas exclusivamente al tránsito de mercancías, materiales o suministros desde las zonas de operación hasta las zonas de almacenamiento y entre ellas, y hasta las zonas exteriores a la zona portuaria, así como los procesos inversos.

*Vida útil:* Duración de la fase de servicio.

*Zona de almacenamiento:* Zona destinada a estancias prolongadas de mercancías, materiales o suministros, permitiendo la acumulación de los mismos.

*Zona de Operación:* Zona destinada a la transferencia y manipulación de mercancías, materiales y suministros, en las que no se produce acumulación duradera de estos.

## 2.2 TIPOS DE PUERTOS

El manejo de mercancía se presenta de diferente manera, de acuerdo a la clase de carga que se va a manejar, estas son:

- Granel Líquido
- Granel Sólido
- Mercancía en general
- Contenedor

**CARGA A GRANEL LÍQUIDO:** Es la carga constituida por líquidos o gases que vienen sin empaque o envase y no pierden su condición en ningunas de las distintas fases de la operación portuaria. (Productos petroleros, químicos y gaseros).

**CARGA A GRANEL SÓLIDO:** Carga constituida por sólidos que vienen sin empaque o envase y no pierden su condición en ninguna de las distintas fases de la operación portuaria. (Cereales- minerales-mixto).

**MERCANCÍA GENERAL:** Las operaciones de este tipo de puerto son muy similares a las de los puertos de contenedores, lo que varía es la forma como es presentada la mercancía. Está dividida de la siguiente manera:

- No unitarizada o suelta: Este tipo de carga consiste en bultos sueltos o individuales, manipulados y embarcados como unidades separadas, paquetes, sacos, cajas, tambores, piezas.
- Unitarizada: cargas preeslingadas, paletizadas, paquetización, contenedorizadas.

**CONTENEDORIZADA:** Es una instalación de intercambio modal, en la cual el transporte se realiza mediante cajas que tienen medidas estandarizadas (20pies = TEUS, 40 pies = FEUS). (Portacontenedores, roll-on roll-off)

## **2.3 ACTIVIDADES PORTUARIAS**

Se consideran actividades portuarias: la construcción operación y administración de puertos, terminales portuarios, los rellenos, dragados, y obras de ingeniería oceánica, y en general, todas aquellas que se efectúan en los puertos y terminales portuarios, en los embarcaderos, en construcciones que existan sobre playas y zonas de bajamar, y en orillas de los ríos donde existan instalaciones portuarias.

### ***Comerciales***

- Entrada, salida, atraque, desatraque y estancia de los buques mercantes
- Estiba y desestiba
- Carga y descarga con medios mecánicos
- Trasbordo de mercancías con medios mecánicos
- Almacenamiento de mercancías
- Tráfico de pasajeros
- Avituallamiento de buques
- Reparación de buques

### ***No Comerciales***

- Descarga y manipulación de pesca fresca
- Carga y descarga manual

- Atraque, fondeo, estancia, avituallamiento, reparación y mantenimiento de buques pesqueros, deportivos y militares.
- Utilización de instalaciones y operaciones y servicios necesarios para el desarrollo de las actividades anteriores.

### ***Actividades No Portuarias***

- Actividades no comerciales complementarias de la actividad esencial, es decir, del tráfico portuario.
- Actividades no comerciales compatibles.
- Actividades industriales o comerciales. Se admite su localización en el puerto, atendiendo a algunos de los siguientes criterios: relación con el tráfico portuario, volumen de los tráficos marítimos que generan o servicios que prestan a los usuarios del puerto, de conformidad con las determinaciones de la ordenación del espacio portuario y del planteamiento.

## **2.4 USOS DE LAS SUPERFICIES TERRESTRES PORTUARIAS**

### ✓ USO COMERCIAL

*Zonas de Operación*

Zonas de Almacenamiento

Vías de Comunicación

Zonas Complementarias

✓ OTROS USOS

Uso Industrial

Uso Militar

Uso Pesquero

Uso Deportivo

### **3. ESTUDIO DE CARGAS**

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

De esta manera, se pueden dividir en tres clases:

- Cargas de Almacenamiento
- Cargas de Manipulación
- Cargas de tráfico pesado convencional

#### **3.1 CARGAS DE ALMACENAMIENTO**

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

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

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

- Naturaleza de la mercancía depositada o apilada, con sus características físicas como pueden ser en su caso el peso específico y el ángulo de rozamiento interno.
- Forma de presentación de la mercancía.
- Forma y dimensiones de los acopios y apilamientos.
- Cantidad máxima que puede manipularse.
- Métodos y equipos de manipulación.

### **Cargas en las Zonas de almacenamiento de Contenedores**

Además de las posibles distribuciones espaciales que pueda presentar el almacenamiento de contenedores es importante señalar la forma en que éstas actúan sobre la Losa. El peso de las unidades cae directamente sobre su superficie de contacto, que en este caso corresponde a la de los 4 apoyos de las esquinas. Las presiones de contacto sobre el pavimento dependen de la carga, de la forma de almacenar los contenedores (filas, bloques), de las alturas empleadas (Generalmente el apilamiento máximo son 5 contenedores) y de la flexibilidad o rigidez del propio pavimento.

### **3.2 CARGAS DE MANIPULACION**

La consideración de los equipos de manipulación que se van a utilizar en la explotación portuaria requiere el conocimiento de las siguientes características:

- Peso total de cada equipo
- Carga máxima que puede manipular
- Numero de ruedas y carga por rueda
- Velocidad media de circulación
- Presión de inflado

Los equipos de manipulación de los puertos marítimos tienen cargas estáticas altas, las cuales pueden causar tensiones muy altas en el pavimento. Si el pavimento se diseña para que soporte cargas por rueda repetitiva (fatiga), entonces, por lo general será capaz de soportar las cargas asociadas, sin producirse fallas estructurales. Sin embargo, el material de superficie se debe diseñar para resistir altas cargas y tensiones de contacto.

Distribución de cargas en equipos de manipulación:

a) Cargador Frontal:

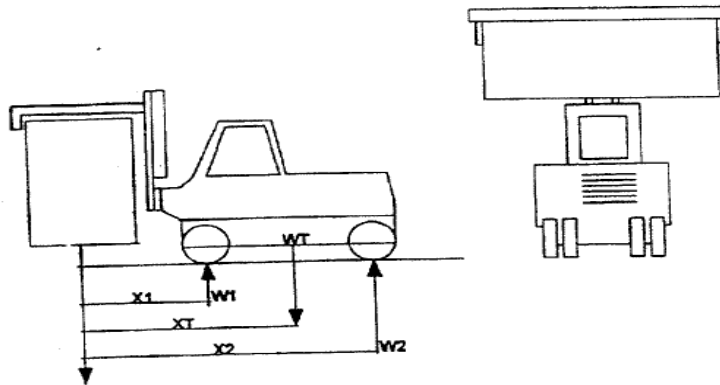


Figura 1. Distribución de Cargas – Cargador Frontal

$$W1 = fd * \frac{A1 * Wc + B1}{M} \qquad W2 = fd * \frac{A2 * Wc + B2}{2}$$

$$A1 = \frac{-X2}{X1 - X2} \qquad A2 = \frac{-X1}{X2 - X1} \qquad B1 = \frac{Wt(Xt - X2)}{X1 - X2} \qquad B2 = \frac{Wt(Xt - X1)}{X2 - X1}$$

Donde,

W1 = carga en rueda delantera (ton)

W2 = Carga en rueda trasera (ton)

Wc = Peso de carga: contenedor, carbón, etc. (ton)

Wt = Peso propio de la grúa (ton)

M = Número de ruedas en el eje delantero (usualmente 2,4 o 6)

Fd = Factor dinámico

b) Cargador Lateral:

Pueden variar según el tipo de eje y el número de ruedas de cada eje.

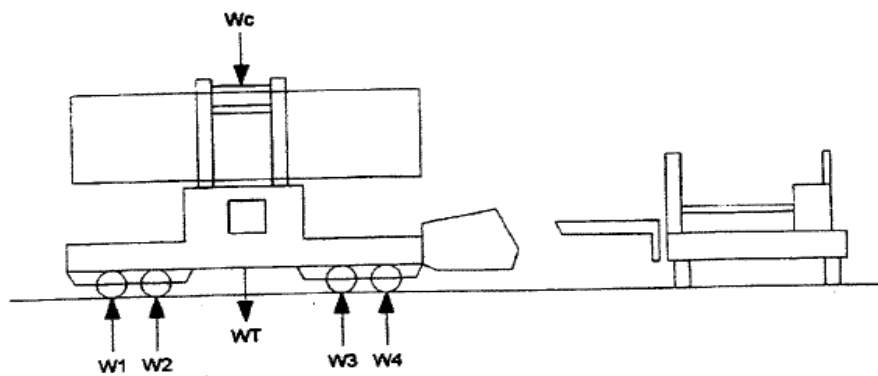


Figura 2. Cargador Lateral

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

Donde,

W<sub>i</sub> = Carga de rueda para planta descargada (ton)

U<sub>i</sub> = Carga de rueda para planta cargada (ton)

W<sub>c</sub> = Peso de la carga (ton)

M = Número total de ruedas en planta

F<sub>d</sub> = Factor dinámico

c) Grúa autom6vil:

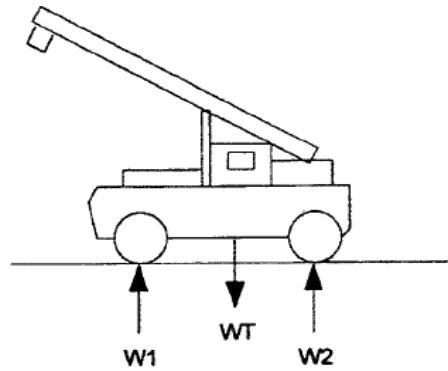


Figura 3. Grúa Autom6vil

$$W_i = \frac{W_t}{M}$$

Donde,

$W_i$  = Peso de grúa por rueda (ton)

$W_t$  = Peso total de la grúa (ton)

$M$  = Número total de ruedas de la grúa

d) Tractor más semirremolque

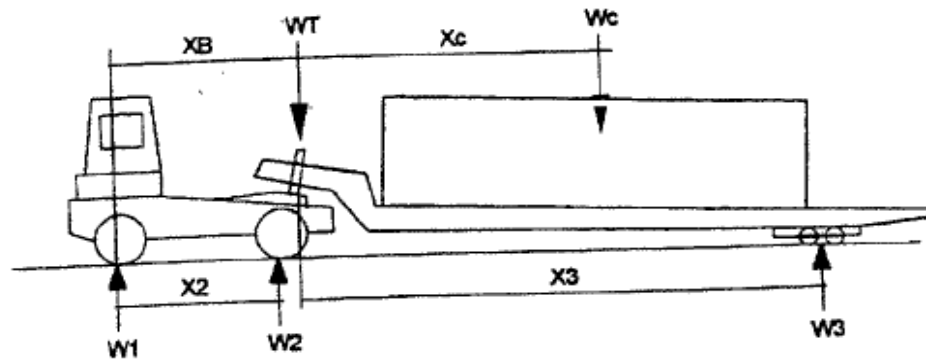


Figura 4. Semirremolque

$$W1 = fd * \left( U1 + \frac{Wc * (1 - A)(1 - B)}{M} \right) \quad W2 = fd * \left( U2 + \frac{Wc * (1 - A) * B}{M} \right)$$

$$W3 = fd * \left( U3 + \frac{Wc * A}{M3} \right)$$

$$A = \frac{Xc}{X3} \quad A = \frac{Xb}{X2}$$

Donde,

W1 = Carga en rueda delantera del tractor (ton)

W2 = Carga en rueda trasera del tractor (ton)

W3 = Carga en ruedas del semirremolque (ton)

Wc = Peso de carga: contenedor, carbón, etc. (ton)

Wt = Peso propio del tractor (ton)

M1 = Número de ruedas delanteras del tractor

M2 = Número de ruedas traseras del tractor

M3 = Número de ruedas del semirremolque

U1 = Carga en ruedas delanteras del tractor –no cargado(ton)

U2 = Carga en ruedas traseras del tractor –no cargado (ton)

U3 = Carga en ruedas del semirremolque–no cargado (ton)

Fd = Factor dinámico

### 3.3 CARGAS DE TRÁFICO PESADO CONVENCIONAL

El tráfico pesado convencional es el que puede circular sin restricciones por las redes de carreteras. En los puertos este tráfico se puede dar en todas las zonas, pero es el característico de los viales de acceso; así mismo ha de ser tenido en cuenta en el dimensionamiento de los firmes de las zonas complementarias.

## 4. TIPOS DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

En la construcción de estructuras de pavimentos pudieran utilizarse materiales bituminosos, materiales granulares tratados y materiales con ligantes hidráulicos.

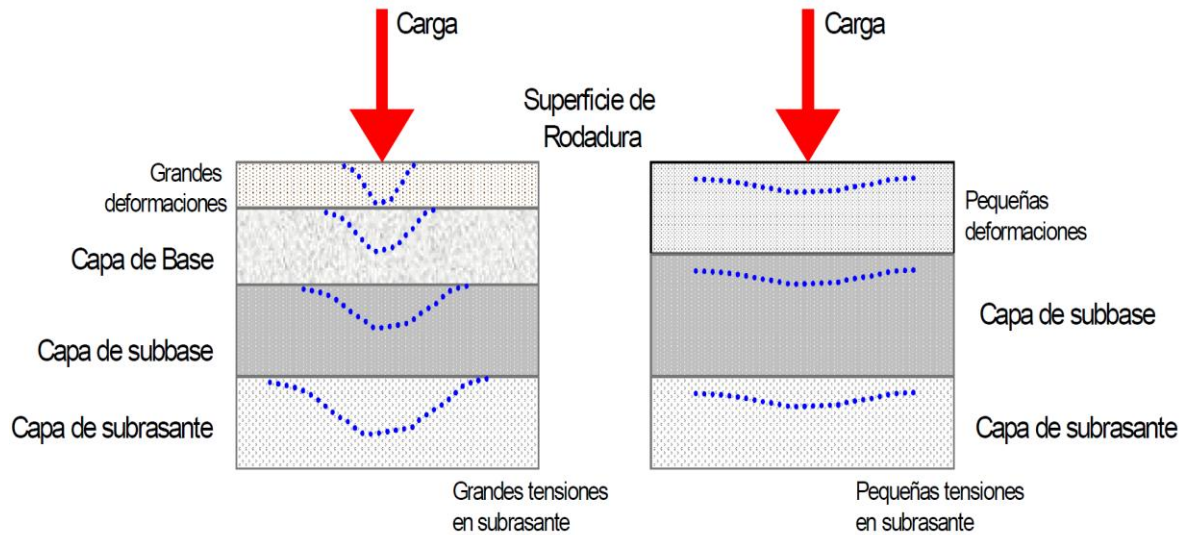


Figura 5. Comportamiento de pavimentos rígidos y flexibles

### 4.1 PAVIMENTO FLEXIBLE

La estructura está conformada por capas de rodamiento y capas de base. En las capas de rodamiento podrían utilizarse capas bituminosas tratadas con ligantes hidráulicos debido a que el tipo de cargas, las bajas velocidades de operación y la alta temperatura ocasionan deformaciones permanentes en las capas asfálticas.

## **Elementos que integran el Pavimento Flexible**

### **➤ Subrasante**

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

### **➤ Subbase**

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición, en los pavimentos flexibles.

➤ **Base**

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subbase y a través de ésta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura. Las bases especificadas son las siguientes:

➤ **Base granular**

Material constituido por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural. Todos estos materiales deben ser clasificados para formar una base integrante de la estructura de pavimento. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, y todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto al agregado grueso.

➤ **Base estabilizada**

Es la capa formada por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, mezclados con materiales o productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia, para constituir una base integrante del pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de subbase.

## **4.2 BLOQUES DE CONCRETO**

### **Adoquines**

Los bloques o adoquines son elementos construidos con material pétreo y cemento, pudiendo tener varias formas, todas ellas regulares, y que son colocados sobre una cama de arena de 3 a 5 centímetros de espesor, la que tiene como función primordial absorber las irregularidades que pudiera tener la base, proporcionando a los adoquines un acomodamiento adecuado y ofreciendo una sustentación y apoyo uniforme en toda su superficie. Además sirve para drenar el agua que se filtra por las juntas, evitando que se dañe la base.

Son ideales para la pavimentación de calles, vías, aceras, parques, jardines, paseos costeros, estacionamientos, paseos peatonales, industrias pesadas, galpones industriales y múltiples usos.

### **ESPESORES**

4cms Tráfico peatonal.

5 - 6 cms Tráfico liviano.

8 - 10 cms Tráfico pesado.

#### *Ventajas Constructivas:*

La instalación es simple y de poca maquinaria, no intervienen procesos térmicos ni químicos, se puede construir y dar servicio un mismo día. Al ser pequeños y no estar unidos rígidamente se adaptan a cualquier variación en el alineamiento horizontal y vertical de la vía.

### *Manejo y Mantenimiento:*

La capa de rodadura en todo el pavimento es quizá el elemento más costoso. Al hacer reparaciones esta capa se debe destruir y retirar. En el caso de los pavimentos de adoquín todo el material es recuperable, se puede almacenar y volver a colocar. Esto los hace particularmente especiales para proyectos donde las redes de servicio, alcantarillado, acueducto y redes eléctricas subterráneas no estén completas.

El mantenimiento de estos pavimentos es muy sencillo, solo requiere limpiar la vegetación que pueda aparecer en las juntas donde no exista tránsito permanente y llenarlas con arena. No se requiere sobre carpas para mantener un buen nivel de servicio, como el caso de los pavimentos asfálticos.

### *Apariencia:*

Al ser elementos simétricos, inducen un sentimiento de orden en la vía. Se pueden fabricar adoquines de diferentes colores, que permiten formar figuras, señales y demarcaciones duraderas que dan una mayor belleza al pavimento.

### *Durabilidad:*

Por la calidad que se les exige a los adoquines de concreto, se garantiza su durabilidad y resistencia a la absorción del tránsito y acciones de la intemperie. El adoquín por si solo tiene una vida útil ilimitada. La estructura del pavimento puede sufrir deterioros después de estar en servicio por más de 20 años.

#### *Costo de Construcción:*

Por su facilidad de instalación, no requiere de mano de obra especializada. Los materiales que se requieren para su construcción se consiguen fácilmente y no consume derivados del petróleo. Los costos respecto a otro pavimento siempre se deben comparar a partir de opciones equivalentes estructuralmente.

#### *Aplicación de los adoquines de concreto:*

Se pueden emplear en usos residenciales, municipales, industriales, centros comerciales etc. Pueden ser aplicados desde pavimentos con tráfico peatonal y liviano hasta pavimentos de tráfico pesado<sup>#</sup>.

### **4.3 PAVIMENTOS DE CONCRETO RÍGIDO**

Pavimentos típicamente rígidos, son los de concreto. Estos pavimentos difieren mucho de los de tipo flexible. Los pavimentos de concreto reciben la carga de los vehículos y la reparten a un área de la sub-rasante.

La losa por su alta rigidez y alto módulo elástico, tiene un comportamiento de elemento estructural de viga. Ella absorbe prácticamente toda la carga.

---

<sup>#</sup>MANUAL CENTROAMERICANO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS (Guatemala). Consultada el 23 de Mayo del 2010

## Tipos de Pavimentos Rígidos:

- A) Pavimentos de concreto simple, sin gravilla pasa juntas.
- B) Pavimentos de concreto simple, con gravillas pasa juntas.
- C) Pavimentos de concreto reforzado (refuerzo continuo)
- D) Pavimentos de concreto preesforzado.
- E) Pavimentos de concreto reforzado con fibras cortas de acero.

El caso más común y corriente, es el “a”, de pavimentos de concreto simple sin varillas pasa juntas.

El talón de Aquiles de los pavimentos de concreto, son las juntas que tienen que diseñar y construir para controlar los cambios de volumen, inevitables, que se producen en ellos por cambios temperatura. Los pavimentos de refuerzo continuo y los pres forzados, se diseñan y construyen sin juntas transversales de contracción y expansión excepto al llegar a un cruce o a una estructura fija. Sólo se construyen juntas de construcción. Estos pavimentos son muy y de tecnología muy avanzada.

Los pavimentos de concreto son muy adecuados para calles de ciudades o plantas industriales\* .

Los pavimentos rígidos consisten en una mezcla de cemento portland, arena de río, agregado grueso y agua, tendido en una sola capa y pueden o no incluir, según la necesidad, la capa de sub-base y base, que al aplicarles cargas rodantes no se deflecten perceptiblemente, y al unir todos los elementos antes

---

\* INGENIERIA CIVIL. Pavimentos Rígidos, tomado de <http://www.ingenieracivil.com/2008/04/pavimentos-rigidos.html>. Consultado el 22 de mayo del 2010.

mencionados, constituyen una losa de concreto, de espesor, longitud y ancho variable. Su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

Están sujetos a los esfuerzos siguientes:

- a. Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- b. Esfuerzos directos de compresión y acortamiento causados por las cargas de las ruedas.
- c. Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- d. Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

### **Elementos que integran el Pavimento Rígido**

- Subrasante
- Subbase
- Superficie de rodadura

#### **4.4 RECOMENDACIÓN GENERAL PARA TERMINALES MARÍTIMOS**

Los pavimentos de concreto debido a su alta rigidez y alto modulo elástico se comportan como una viga estructural, cumpliendo la función de disipar una gran porción de la carga que está soportando. En los Terminales Marítimos un pavimento debe tener una estructura lo suficientemente rígida para soportar las cargas que a diario transitan por el puerto, es por esto, que se propone utilizar pavimento rígido en los puertos marítimos; por otro lado la cercanía con el mar es un factor que influye en la inestabilidad del suelo, por ende se necesita reducir los esfuerzos que son transmitidos a la subbase y subrasante de la estructura del pavimento. Las altas temperaturas de las zonas costeras son también importantes en el diseño de pavimentos ya que de tratarse de un pavimento flexible, ocasiona grandes deformaciones debidas a su alto grado de elasticidad.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

## **5. FUNDAMENTOS TEORICOS DEL DIMENSIONAMIENTO**

En Colombia, debido a que no existe un método específico para el Diseño de Pavimentos para Terminales Marítimos, se utilizan métodos tradicionales como lo son el de la P.C.A y el método A.A.S.H.T.O., obteniendo resultados no tan favorables para el tiempo de vida del pavimento.

Los métodos tradicionales para el dimensionamiento de pavimentos, fueron diseñados para manejar cargas convencionales tomando como referencia máxima camiones tipo C2, C3, C3S2 y C3S3, por esto las tablas y gráficas para calcular el número de repeticiones admisibles están propuestas para estas cargas como máximas.

El dimensionamiento del pavimento de un Terminal Marítimo, se debe manejar de una manera especial debido a la magnitud de las cargas que se manejan, ya que estas son mucho mayores que las de un camión normal. Métodos como el de la BPA o métodos mecanicistas son más exactos debido a que tiene en cuenta todos los tipos de cargas encontradas en un puerto marítimo.

### **5.1 MÉTODO DE LA BPA (BRITISH PORT ASSOCIATION)**

#### **5.1.1 FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO**

La selección del sistema completo incluye los siguientes aspectos que deben 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

### **5.1.2 CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS PARA LOS EQUIPOS DE MANIPULACIÓN**

La consideración de los equipos de manipulación que se van a utilizar en la explotación portuaria requiere el conocimiento de sus características:

- Peso total de cada equipo
- Carga máxima que puede manipular
- Número de ruedas y carga por rueda
- Presión de inflado
- Carga transmitida al pavimento
- Sistema de giro
- Velocidad media de circulación
- Forma de realizar la operación

#### ➤ Cargas Estáticas

- ✚ Apoyo de Contenedores

- ✚ Factores de proximidad de las ruedas

#### ➤ Cargas Dinámicas

**FACTORES DE CARGA DINÁMICA (FD)**  
**% DE AFECTACIÓN DE LAS CARGAS ESTÁTICAS**

	<b>Frenado</b>	<b>Operación es Esquinas</b>	<b>Aceleración</b>	<b>Superficie Irregular</b>
<b>Cargador Frontal</b>	±30%	40%	10%	20%
<b>Grúa a horcajadas</b>	±50%	60%	10%	20%
<b>Cargador Lateral</b>	±20%	30%	10%	20%
<b>Tractor y remolque</b>	±10	30%	10%	20%

*Tabla 1. Factores de Carga Dinámica*

- Deterioro por carga de rueda
- Características de los Materiales
  - Asfalto
  - Bloques de Hormigón (Adocreto)
  - Hormigón

### 5.1.3 PROCEDIMIENTO DE DIMENSIONAMIENTO

Este resumen considera todos los equipos 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
  - ✓ Acho de pista
  - ✓ Espaciamiento de rueda
  - ✓ Número estimado de pasadas

3. Capacidad de la subrasante medida con el ensayo CBR.
4. Verificación de espesores de explanada y de subbase

<b>CBR de Subrasante %</b>	<b>Espesor de coronación (mm)</b>	<b>Espesor de Subbase (mm)</b>
1	600	150
2	350	150
3	250	150
5-7	No requiere	225
<b>10-30</b>	<b>No requiere</b>	<b>150</b>

*Tabla 2. Espesores de explanada y subbase*

5. Variables del equipo

- ✓ Número total de ruedas (N)
- ✓ Carga de cada rueda en situación sin contenedor(peso no cargado/N)
- ✓ Fórmula de  $f_d$
- ✓ Cálculo de la carga de rueda estática (peso crítico de contenedor/N + peso no cargado/N)

6. Calculo de la Profundidad efectiva

7. Factor de proximidad de rueda

<b>Espaciamiento entre ruedas (mm)</b>	<b>Factor de proximidad para profundidad efectiva de la base de:</b>		
	<b>1000 mm</b>	<b>2000 mm</b>	<b>3000 mm</b>
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

*Tabla 3. Factor de Proximidad*

8. Carga efectiva estática de rueda (Carga de rueda estática\*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\*sumatoria de efectos por rueda)
12. Teniendo carga equivalente simple, número final de pasadas y tipo de material, obtenemos el espesor de pavimentos.
13. Transformar el espesor del hormigón H10 en el espesor del material que deseamos.\*\*

---

\*\* HEAVY DUTY PAVEMENTS. THE STRUCTURAL DESIGN OF HEAVY DUTY PAVEMENTS FOR PORTS AND OTHER INDUSTRIES. Edition 4. Published by INTERPAVE, 2007. Consultada el 30 de Mayo del 2010

# Carga simple equivalente (kN)

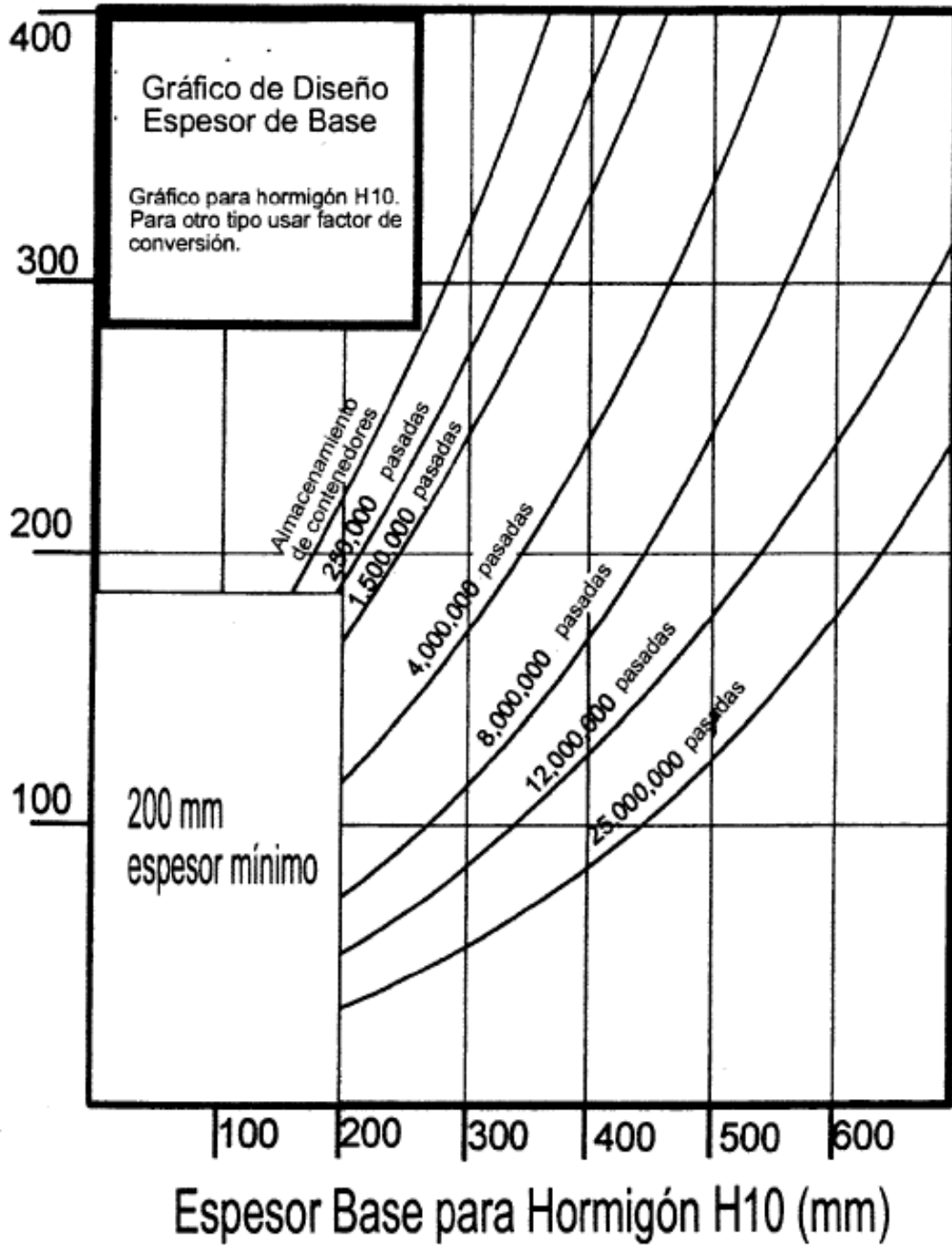


Figura 6. Espeor Hormigón H10 (mm)

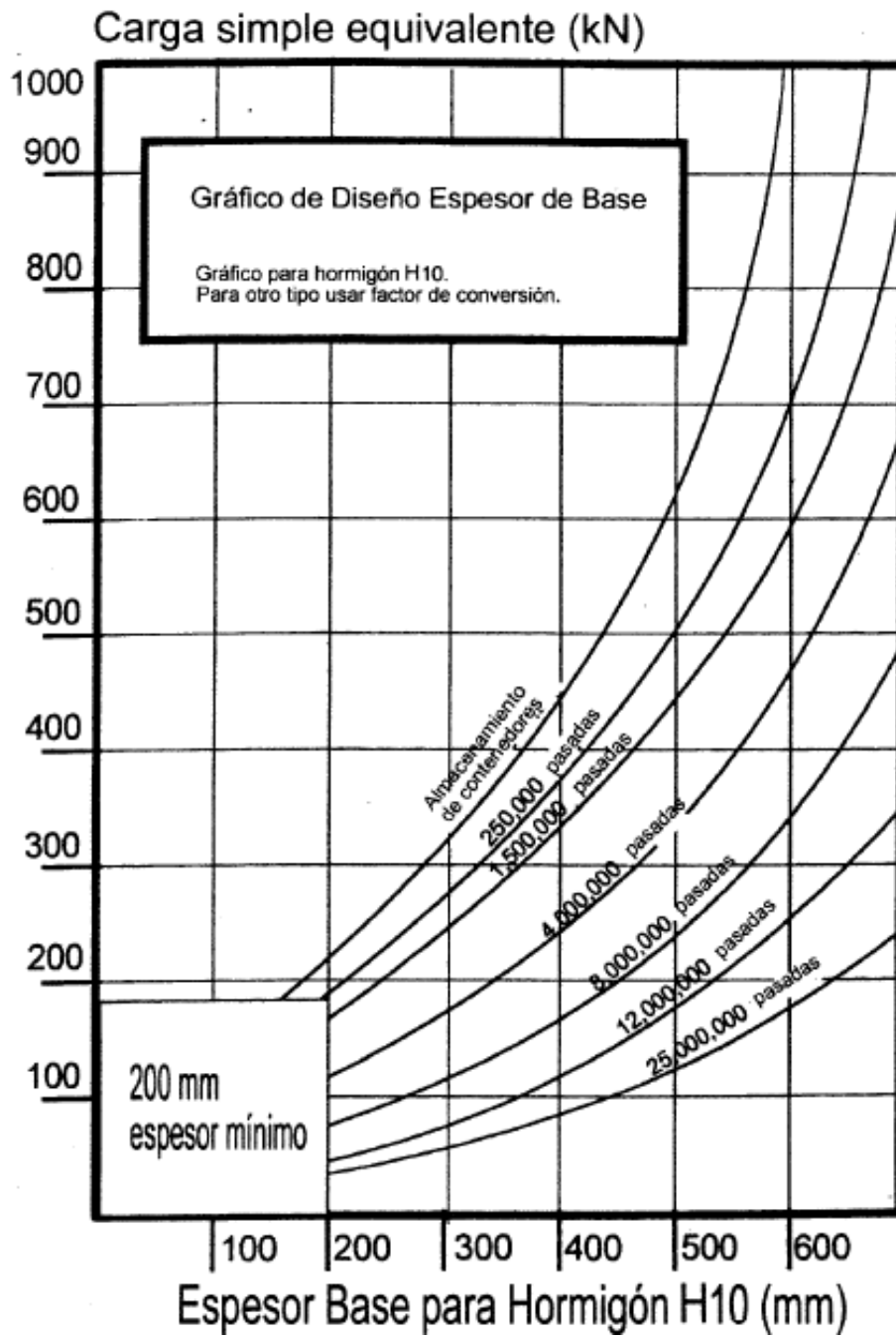


Figura 7. Espesor Hormigón H10 (2)

## 5.2 MÉTODO MECANÍSTICO

Algunos países Europeos comenzaron a partir de la segunda guerra mundial a implementar teorías mecanicistas. Es así como en Francia en 1948 presentó una explicación racional del comportamiento de pavimentos que explicaba los conceptos de CBR con base en la teoría de Boussinesq.

En este manual se empleará el a partir de los fundamentos teóricos que se explicaran a continuación.

Los esfuerzos producidos por la carga en medio de la placa se calculan asumiendo que el pavimento en concreto es una estructura continua. Las discontinuidades y los efectos de los gradientes térmicos se tienen en cuenta mayorando los esfuerzos calculados por un coeficiente que depende de la calidad de la transferencia de cargas entre las placas durante la vida útil del pavimento.

El cálculo se realiza tomando un modelo multicapa elástico con las siguientes condiciones:

- La interface entre la capa de subbase y la plataforma se considera ligada.
- Para el concreto pre-vibrado, la capa de base no debe ligarse con su soporte. Esto con el fin de limitar la fisuración por fraguado y prevenir el calcado de fisuras.

### 5.2.1 CRITERIOS DE DISEÑO

Las estructuras en concreto con capa de subbase se calculan en función de la rotura por fatiga de la capa de base y de la capa de subbase, verificando que los esfuerzos de tracción en estas capas sean inferiores a los valores admisibles.

Las deformaciones verticales en la subrasante son generalmente suficientemente bajas para que no sea necesario calcularlas en el diseño.

### **Determinación del Esfuerzo de Tracción Admisible $\sigma_t$ -ad en la Capa de Base del Concreto**

El valor de  $\sigma_t$ -ad está dado por la relación:

$$\sigma_t\text{-ad} = \sigma_t(\text{NE}) * K_r * K_d * K_c$$

En donde:

- $\sigma_t$  (NE): Es el esfuerzo para el cual la rotura en tracción por flexión se obtiene luego de NE ciclos de cargas.
- NE. Es el número de cargas equivalentes calculadas a partir del tráfico acumulado y del coeficiente de agresividad CAM.
- $\sigma_t$  (NE) =  $\sigma_6 (NE/10^6)^b$

$\sigma_6$ (Mpa)	
Concreto hidráulico	2.15
Concreto Pobre	1.63

- $K_r$  es un coeficiente que ajusta el valor de la deformación admisible al riesgo de cálculo retenido en función de los factores de dispersión sobre el espesor.  $K_r = 10$ .
- $K_d$  es un coeficiente destinado a tener en cuenta las discontinuidades de las estructuras de pavimento en concreto hidráulico y la incidencia de los gradientes térmicos.

Kd	
Estructuras sin pasadores	1/1.70
Estructuras con pasadores	1/1.47

- Kc es el coeficiente de calibración destinado a ajustar los resultados del modelo de cálculo con el comportamiento observado en los pavimentos del mismo tipo. \*\*\*

## **6. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN Y DISEÑO EN EL TERMINAL MARÍTIMO DE SANTA MARTA**

### **6.1 INFORMACION GENERAL TERMINAL MARITIMO DE SANTA MARTA**

La SPSM como todos los puertos de Colombia tiene como misión Prestar servicios portuarios y logísticos multipropósito a la medida de las necesidades de los clientes, y en cuanto a la visión particular de la SPSM es ser en el año 2016 la mejor opción portuaria y logística multipropósito del Caribe Colombiano.

#### **6.1.1 UBICACIÓN**

El puerto de Santa Marta se encuentra ubicado en el extremo noroccidental de la ciudad, enmarcado al norte por los cerros de San Martín y al occidente por el cerro Ancón y la ensenada de Tanganilla.

---

\*\*\* MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS (Bogotá). INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Consultada el 05 de Junio de 2010

El puerto se localiza a los 11° 15' de latitud Norte y a los 74° 13' de longitud Oeste.

En sus siete muelles, el puerto atiende a sus usuarios durante 24 horas al día todos los días del año, ofreciendo también los beneficios de un almacenaje seguro en sus bodegas y patios. Además, Santa Marta es el único puerto de la Costa Atlántica con servicio de ferrocarril, ofreciendo la posibilidad de efectuar cargues y descargues directos en los muelles

### **6.1.2 INSTALACIONES DEL TERMINAL**

El puerto marítimo de Santa Marta consta una distribución de su área total dividida por patios los cuales reciben la carga de los diferentes muelles del puerto, consta con 7 muelles que suministran de carga a 6 patios de diferentes materiales, dichos patios están conectados por una avenida por donde transitan principalmente tracto camiones donde cargan y descargan material. (Ver plano adjunto)

### **6.1.3 GEOLOGÍA DE LA REGIÓN**

La geología de la zona está conformada por rocas metamórficas, tipo esquistosa, correspondiente a la Formación Gaira. La litología y características de los macizos rocosos presentes, corresponden a esquistos con intrusiones de cuarzo longitudinales y diques pegmatíticos, afectados por numerosos planos de diaclasas que han contribuido notablemente a su erosión. Las masas rocosas aparecen en la mayoría de los casos afectados por discontinuidades o superficies de debilidad que separan bloques de matriz rocosa.

Estos macizos rocosos aparecen cubiertos por depósitos recientes de arenas cuarzíticas y micáceas, así como depósitos de roca blandos más recientes, conglomerados y coralíferos.

### 6.1.4 SISMICIDAD DEL ENTORNO

Según la NSR-10 del 26 de Marzo del 2010, la Ciudad de Santa Marta (Magdalena) se encuentra ubicada en una zona de Sismicidad Intermedia. Para efectos del proyecto se tomaran las normas estipuladas para el diseño de pavimentos.

### 6.1.5 CLIMA

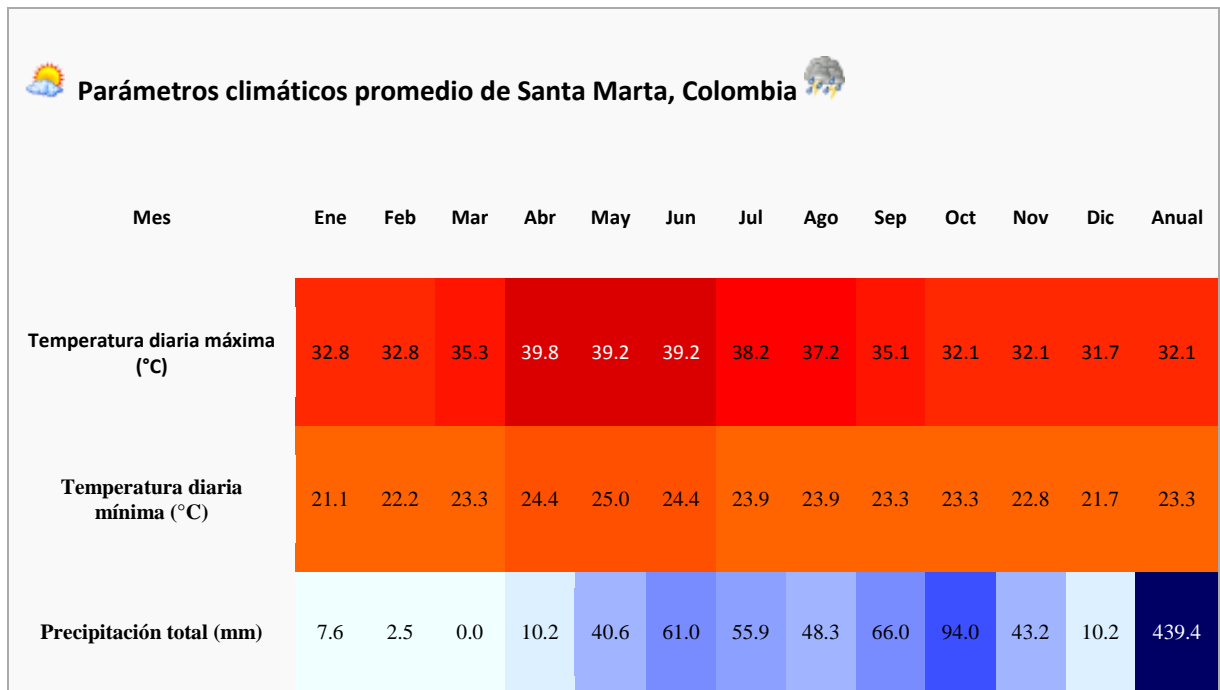


Figura 8. Clima ciudad de Santa marta

## 6.2 PARÁMETROS DE DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

### 6.2.1 ESTUDIO DE SUELOS

Para efectos de este proyecto, se tomaron los resultados obtenidos en dos estudios de suelos realizados por empresas diferentes; el primero lo ejecuto la empresa TECNISUELOS LTDA para la Sociedad Portuaria de Santa Marta en marzo de 1998 en la ciudad de Barranquilla, el segundo lo ejecuto la empresa SUELOS INGENIERIA LTDA para CARBOSAN LTDA, la cual realiza sus labores dentro de la Sociedad Portuaria de Santa Marta en abril 23 de 2007 en la ciudad de Barranquilla.

Los dos estudios presentan los resultados y las recomendaciones pertinentes a la investigación geotécnica realizada en un terreno, para distintos fines, el estudio de TECNISUELOS LTDA se realizó para la reconstrucción del pavimento de las vías de acceso y circulación de puerto, y el estudio de SUELOS DE INGENIERIA LTDA se realizó para la construcción de una nueva volcadora en el Termina Marítimo.

#### ✓ Vía entre Patio 1 y Patio 2:

Se encontró una mezcla de arena limosa con gravilla, subyaciendo este depósito existe una arena de media a fina de color gris que se existe hasta la máxima profundidad.

#### *Arena Limosa Color Negro*

<i>Contenido de Humedad</i>	<i>6.8%</i>
<i>Limite Líquido</i>	<i>N.L</i>
<i>Limite Plástico</i>	<i>N.P.</i>
<i>Índice de Plasticidad</i>	<i>N.P.</i>

<i>Pasa Tamiz 200</i>	<i>18.4 %</i>
<i>Clasificación U.S.C.</i>	<i>SP-SM, SM</i>
<i>Clasificación A.A.S.H.T.O.</i>	<i>A-1 b (0), A-2-4(0)</i>
<i>CBR al 90%</i>	<i>12.5% (En condiciones no saturadas)</i>

*El nivel Freático encontrado en esta zona fue de 1.40m a 1.50, estos pueden variar de acuerdo a la época del año en la que se determinan.*

✓ **Vía entre Patio 3 y Patio Centro:**

Se encontró una arena limosa color carmelita.

*Arena Limosa Color Carmelita*

<i>Contenido de Humedad</i>	<i>5.70% - 17.4%</i>
<i>Limite Líquido</i>	<i>N.L.</i>
<i>Limite Plástico</i>	<i>N.P.</i>
<i>Índice de Plasticidad</i>	<i>N.P.</i>
<i>Pasa tamiz 200</i>	<i>7.20% - 32.2%</i>
<i>Clasificación USC</i>	<i>ML</i>
<i>Clasificación A.A.S.H.T.O.</i>	<i>A-4(7)</i>
<i>CBR al 90%</i>	<i>6% (En condiciones no saturadas)</i>

De acuerdo a la normatividad de la AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY TRANSPORTATION OFFICIALS (A.A.S.H.T.O.), muy usada para

evaluar el comportamiento de un suelo determinado como subrasante, clasifican como comportamiento estimado bueno.

El estado de densidad relativa (Dr.), evaluado visualmente en campo, se cataloga entre suelto y medio.

✓ **Vía entre Patio 4, 5 y ancón:**

El perfil estratigráfico que se obtuvo de acuerdo a los resultados obtenidos de campo y laboratorio en la zona es el siguiente:

*Relleno de Arcilla*

<i>Contenido de Humedad</i>	<i>11% - 28%</i>
<i>Limite Líquido</i>	<i>N.L.- 26</i>
<i>Limite Plástico</i>	<i>N.P.- 17</i>
<i>Índice de Plasticidad</i>	<i>N.L.-NP - 11</i>
<i>Pasa tamiz 200</i>	<i>9% - 30%</i>
<i>Clasificación USC</i>	<i>SC, SM-SC, SP-SM, SM, GM, GM-GW</i>
<i>CBR al 90%</i>	<i>10% (En condiciones no saturadas)</i>

Analizando los resultados anteriores se desprende que el suelo de subrasante para las vías estudiadas está conformado por depósitos predominantemente friccionantes con propiedades aceptables para el proyecto. Por otro lado los niveles freáticos altos hacen pensar en la necesidad de adecuar un sistema de

drenaje que garantice que los materiales que conforman la estructura del pavimento trabajen en el estado con el cual intervinieron en el proceso de diseño.

Desde el punto de vista constructivo podría presentarse ciertas complicaciones, especialmente si el proyecto se desarrolla en época de lluvias, ya que un aumento en el nivel freático dificultaría las operaciones de conformación de las diferentes capas del pavimento. Aun así, se considera suficiente utilizar procesos convencionales de construcción.

## **6.2.2 TIPIFICACIÓN DE CARGAS**

### ✓ Equipos de Manipulación

En el terminal de Santa Marta operan 10 tipos de equipos:

- Grúa Liebherr LHM 1300 GDVG
- Grúa P&H 6250 TC
- ReachSteaker (TEC 950L)
- Top Loader
- Cargador 992G
- Cargador 980H
- Cargador 966G
- Elevador Kalmar DCE 90-6L
- Grúa de Pórtico o Grúa Muelle
- Grúa de Tierra especializada en carga y descarga de carbón.

Los dos últimos equipos no son utilizados en los diseños desarrollados debido a que su cimentación requiere de un estudio más profundo y detallado.##

---

## Esta información fue suministrada por el personal operario del puerto marítimo de Santa Marta.

A continuación se ilustran las características de capacidad y velocidad de operación de cada uno.

## CARGADOR LATERAL

- Liebergh LHM 1300 HDVG

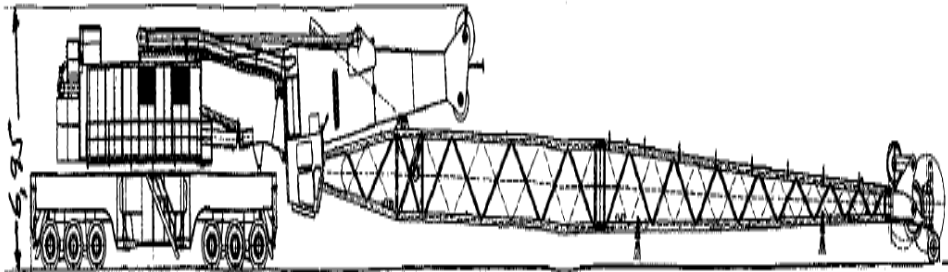


Figura 9. Grúa Liebergh

## Especificaciones

Velocidad: 2 km/h

Peso propio: 410 Ton

Capacidad: 104 Ton

- Grúa P&H 6250 TC

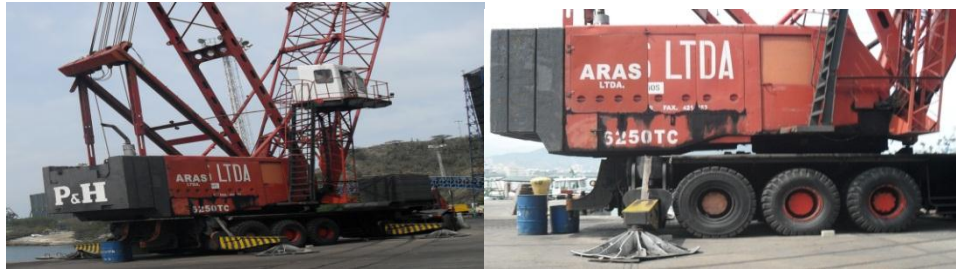


Figura 10. Grúa P&H

### Especificaciones

Velocidad: 5 Km /h

Peso Propio: 120 Ton

Capacidad: 64 Ton

CARGADOR FRONTAL

- ReachStaker (TEC 950L):

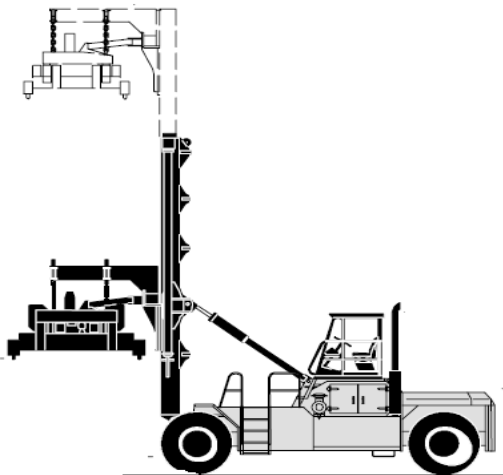


Figura 11. ReachStaker

## Especificaciones

Velocidad: 10 km/h

Peso propio: 40 Ton

Capacidad: 36 Ton

- Top Loader



Figura 12. Top Loader

## Especificaciones

Velocidad: 10 km/h

Peso propio: 52 Ton

Capacidad: 42 Ton

- Cargador 992 G

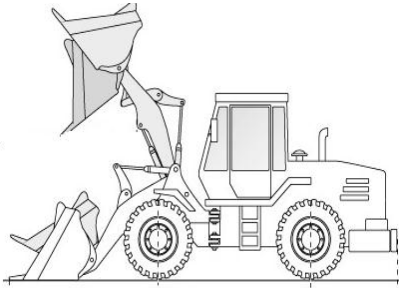


Figura 13. Cargador 992 G

### Especificaciones

Velocidad:	20 km/h
Peso Propio:	110 Ton
Capacidad:	22 Ton

- Cargador 980 H



Figura 14. Cargador 980 H

### Especificaciones

Velocidad:	20 km/h
Peso Propio:	28 Ton
Capacidad:	6 Ton

- Cargador 966 G

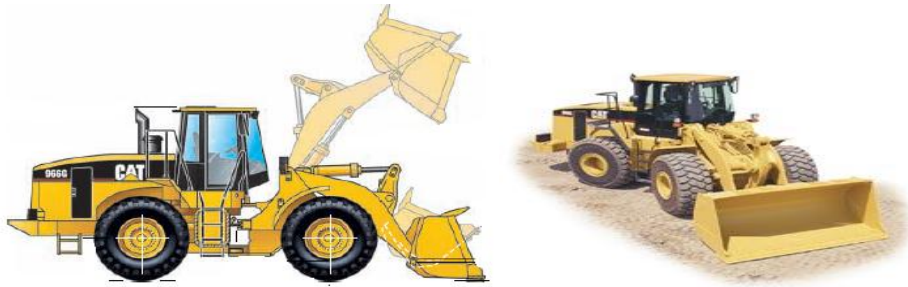


Figura 15. Cargador 966 G

### **Especificaciones**

Velocidad:	20 km/h
Peso Propio:	17 Ton
Capacidad:	5.5 Ton

- Elevador Kalmar DCE 90-6L

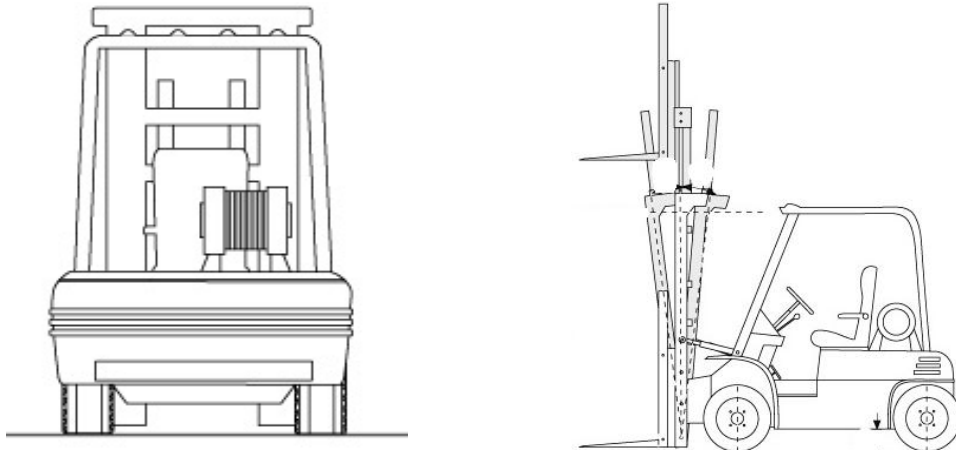


Figura 16. Elevador Kalmar

## Especificaciones

Velocidad: 20 km/h

Peso Propio: 20 Ton

Capacidad: 9 Ton

## Grúa de Pórtico o Grúa Muelle

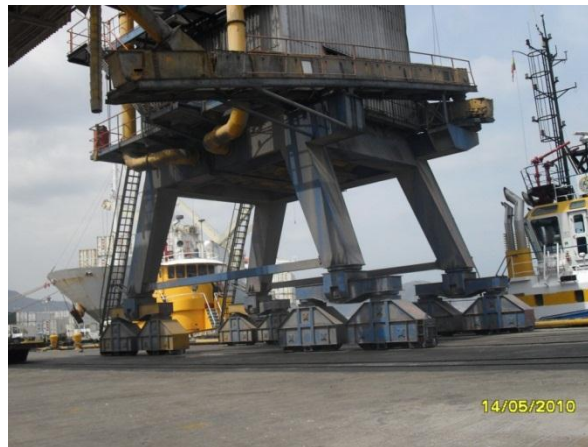


Figura 17. Grúa Pórtico

## Grúa de tierra especializada en carga y descarga de carbón.



Figura 18. Grúa de Tierra en carga y descarga de carbón

✓ Cargas de tráfico pesado convencional

Se van a emplear los siguientes seis tipos de vehículos encontrados en el puerto de Santa Marta:

- Camión Tipo C2
- Camión Tipo C3S2
- Camión Tipo C3S3
- Niñeras
- Trailer Taylor
- Volteos

A continuación se ilustran las características de capacidad y velocidad de operación de cada uno.###

## CAMIONES

- Tipo C2

Velocidad: 20 km /h

Capacidad: 12 Ton

Peso Propio: 6 Ton

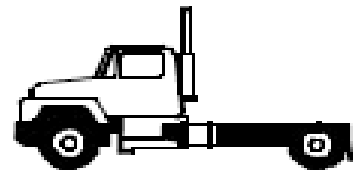


Figura 19. Camión C2

---

### Esta información fue suministrada por el personal operario del puerto marítimo de Santa Marta.

- Tipo C3S2

Velocidad: 20 km/h

Capacidad: 33 Ton

Peso Propio: 15 Ton

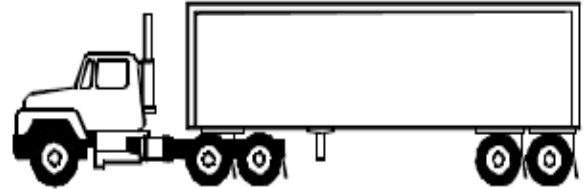


Figura 20. Camión C3S2

- Tipo C3S3

Velocidad: 20 km/h

Capacidad: 35 Ton

Peso Propio: 17 Ton



Figura 21. Camión C3S3

- Niñera

Velocidad: 20 km/h

Capacidad: 12 Ton

Peso Propio: 10.4 Ton



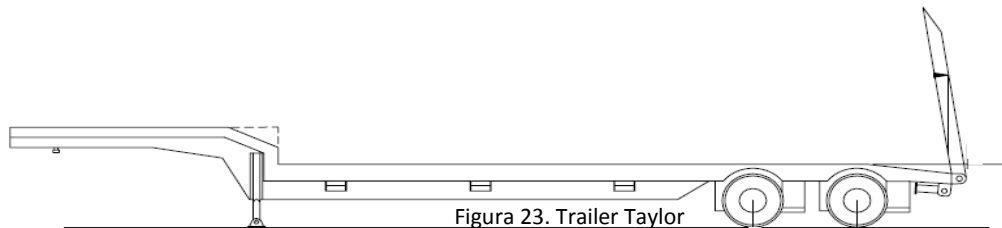
Figura 22. Niñeras

- Trailer Taylor

Velocidad: 20 km/h

Capacidad: 36 Ton

Peso Propio: 7 Ton



- Volteos

Velocidad: 20 Km/h

Capacidad: 9 Ton

Peso Propio: 7 Ton



Figura 24. Volteos

### 6.2.3 DISTRIBUCIÓN DE CARGAS

Para los equipos de manipulación, la distribución de cargas se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por la BPA, descrita anteriormente en los fundamentos teóricos de este método.

Para los vehículos de tráfico pesado convencional se distribuyó la carga de la siguiente manera:

Peso máximo soportado en el eje delantero: 6.6 Tn

El resto de carga fue distribuido de acuerdo al número de ruedas por eje.

### a) **Cálculo Tipo:** Cargador Frontal

*En el Puerto marítimo de Santa Marta se encuentran cargadores frontales tales como las grúas ReachStaker, los cargadores Caterpillar 992g, 980H, 966G y cargadores Kalmar de 9 toneladas.*

*ReachStaker:*

*Peso propio: 40 Ton      Peso Contenedor: 37 Ton X2 =8.5m;*

*X1=2.775m; Xt=5.633*

$$A1 = \frac{-8.5}{2.775 - 8.5} = 1.485 \quad B1 = \frac{40(5.633 - 8.5)}{2.775 - 8.5} = 20.03$$

$$A2 = \frac{-2.775}{8.5 - 2.775} = -0.485 \quad B1 = \frac{40(5.633 - 2.775)}{8.5 - 2.775} = 20$$

$$W1 = \frac{37 * 1.485 + 20.03}{4} = 75 \text{ Ton} \quad W2 = \frac{37 * -0.485 + 20}{2} = 2 \text{ Ton}$$

**Nota:** Los demás cálculos correspondientes a la distribución de cargas en los diferentes equipos de manipulación y tráfico pesado se encuentran en la sección Anexos.

## **6.3 DIMENSIONAMIENTO CON EL MÉTODO DE LA BPA**

### **6.3.1 VÍAS DE CIRCULACIÓN**

- **Tasa de Crecimiento del Tránsito**

Según el estudio No. E-032-98 realizado por TECNISUELOS en el año 1998 el tráfico promedio diario (TPD) era 300. De acuerdo con lo reportado en el año 2010, el TPD asciende a 662 vehículos, lo cual lleva a una tasa anual de crecimiento del tránsito de 6.82%.

<b>Año</b>	<b>TPD</b>
1998	300
1999	320
2000	342
2001	366
2002	391
2003	417
2004	446
2005	476
2006	509
2007	543
2008	580
2009	620
2010	662

*Tabla 4. Tasa de Crecimiento*

- **Composición del Tránsito**

La siguiente información fue suministrada por el Jefe de Operaciones del Terminal Marítimo de Santa Marta.

<b>TPD</b>	662	
Tasa de Crec. Tránsito	6.82%	
Periodo de Diseño	20 años	
<b>Compos. del Tránsito</b>		<b>TPD/ vehículo</b>
Grúa Libergh	0.30 %	2
Grúa PH	0.30 %	2
Cargador Frontal 992	3.02 %	20
ReachSteakerTerex	1.51 %	10
Top Loader	2.72 %	18
Camiones C3S3	45.32 %	300
Camiones C3S2	22.66 %	150
Camiones C2	9.06 %	60
Volteos	15.11 %	100

*Tabla 5. Composición del Tránsito*

- **Tráfico esperado (Periodo de Diseño =20 años)**

En la siguiente tabla se calcula el tráfico esperado por vehículo para un periodo de diseño de 20 años, a partir de la tasa de crecimiento establecida.

Año	TPD con 6.82%	GrúaLibergh	Grúa PH	Cargador 992	ReachSteaker	Top Loader	Camiones C3S3	Camiones C3S2	Camiones C2	Volteos
1	662	730.00	730.00	7300	3650	6570.00	109500.00	54750.00	21900.00	36500.00
2	707	779.79	779.79	7797.86	3898.93	7018.07	116967.90	58483.95	23393.58	38989.30
3	755	832.97	832.97	8329.67	4164.84	7496.71	124945.11	62472.56	24989.02	41648.37
4	807	889.78	889.78	8897.76	4448.88	8007.98	133466.37	66733.18	26693.27	44488.79
5	862	950.46	950.46	9504.58	4752.29	8554.13	142568.77	71284.39	28513.75	47522.92
6	921	1015.28	1015.28	10152.80	5076.40	9137.52	152291.96	76145.98	30458.39	50763.99
7	983	1084.52	1084.52	10845.22	5422.61	9760.70	162678.28	81339.14	32535.66	54226.09
8	1051	1158.49	1158.49	11584.86	5792.43	10426.38	173772.93	86886.47	34754.59	57924.31
9	1122	1237.49	1237.49	12374.95	6187.47	11137.45	185624.25	92812.12	37124.85	61874.75
10	1199	1321.89	1321.89	13218.92	6609.46	11897.03	198283.82	99141.91	39656.76	66094.61
11	1281	1412.05	1412.05	14120.45	7060.23	12708.41	211806.78	105903.39	42361.36	70602.26
12	1368	1508.35	1508.35	15083.47	7541.73	13575.12	226252.00	113126.00	45250.40	75417.33
13	1461	1611.22	1611.22	16112.16	8056.08	14500.94	241682.39	120841.19	48336.48	80560.80
14	1561	1721.10	1721.10	17211.01	8605.50	15489.91	258165.13	129082.56	51633.03	86055.04
15	1667	1838.48	1838.48	18384.80	9192.40	16546.32	275771.99	137885.99	55154.40	91924.00
16	1781	1963.86	1963.86	19638.64	9819.32	17674.78	294579.64	147289.82	58915.93	98193.21
17	1902	2097.80	2097.80	20978.00	10489.00	18880.20	314669.97	157334.98	62933.99	104889.99
18	2032	2240.87	2240.87	22408.70	11204.35	20167.83	336130.46	168065.23	67226.09	112043.49
19	2171	2393.70	2393.70	23936.97	11968.49	21543.27	359054.56	179527.28	71810.91	119684.85
20	2319	2556.95	2556.95	25569.47	12784.74	23012.52	383542.08	191771.04	76708.42	127847.36
<b>TOTAL</b>		<b>29345</b>	<b>29345</b>	<b>293450</b>	<b>146725</b>	<b>264105</b>	<b>4401754</b>	<b>2200877</b>	<b>880351</b>	<b>1467251</b>

*Tabla 7. Tráfico Esperado*

## APLICACIÓN DEL METODO

De acuerdo a la metodología descrita anteriormente, se realizaron los cálculos para la obtención del número total de repeticiones de carga y carga máxima equivalente.

<b>EQUIPO</b>	<b>CARGADOR 992G</b>	
<b>DATOS</b>		
Peso de la grúa no cargada	75	Tn
Peso de contenedor crítico	22	Tn
Ancho de pista	4.5	m
Espaciamiento de rueda	5890	mm
Número estimado de pasadas durante su vida de diseño	293451	pas
CBR del suelo	12.50	
<b>VERIFICACIÓN DE ESPESORES</b>		
Espesor de coronación	No requiere	mm
Espesor de Subbase	150	mm
<b>ESPECIFICACIONES DE EQUIPO</b>		
No. Total de ruedas en planta	4	
Eje 1	2	
Eje 2	0	
Eje 3	0	
Eje 4	0	
Eje 5	0	
Eje 6	2	
<b>Carga de rueda en planta(Peso propio+Carga)</b>		
Eje 1	38.15	Tn
Eje 2	0	Tn
Eje 3	0	Tn
Eje 4	0	Tn
Eje 5	0	Tn
Eje 6	10.35	Tn
fd (frenado)	30	
fd (operación de esquina)	40	
Relación distancias entre ejes	1	
% frenado	30	
<b>PROFUNDIDAD EFECTIVA</b>	1962.64	
<b>FACTOR DE PROXIMIDAD</b>	1	
<b>Carga efectiva estática de rueda</b>		
Eje 1	38.15	Tn
Eje 2	0	Tn
Eje 3	0	Tn
Eje 4	0	Tn
Eje 5	0	Tn
Eje 6	10.35	Tn
<b>Carga por rueda( incluido fd)</b>		
Eje 1	64.855	Tn
Eje 2	0	Tn
Eje 3	0	Tn
Eje 4	0	Tn
Eje 5	0	Tn
Eje 6	11.385	Tn
<b>NUMERO FINAL DE PASADAS</b>		
Eje 1	1	pas. Carga max.
Eje 2	0	pas. Carga max.
Eje 3	0	pas. Carga max.
Eje 4	0	pas. Carga max.
Eje 5	0	pas. Carga max.
Eje 6	0.001	pas. Carga max.
Total pasadas	1.001	
<b>No. Total repeticiones de Carga</b>	<b>293882</b>	

**Nota:** Las demás tablas correspondientes a la aplicación del método de la BPA para la totalidad de los equipos de vías de circulación se encuentran en la sección Anexos.

## **✚ Determinación del Espesor:**

“Todas las repeticiones 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 derive de la carga de rueda más pesada. Sería inseguro convertir la carga de rueda a una de las cargas más livianas” .

La carga de rueda más pesada para el diseño de las vías de circulación fue obtenida del Cargador 992 correspondiente a 64.855 Toneladas. El número total de cargas de llantas correspondientes a la totalidad de los vehículos que hacen parte del tránsito diario, fueron convertidos a repeticiones de la carga mayor.

### **Cargador 992**

Carga Simple Equivalente (KN)	648.55
Número final de pasadas	293882

### **Top Loader**

Carga Simple Equivalente (KN)	258,5
Número final de pasadas	11579

### **ReachSteaker**

Carga Simple Equivalente (KN)	318.75
Número final de pasadas	12223

### **Grúa Libergh**

Carga Simple Equivalente (KN)	420.75
Número final de pasadas	21399

### **Grúa P&H**

Carga Simple Equivalente (KN)	340.96
Número final de pasadas	18196

### **Camiones C3S3**

Carga Simple Equivalente (KN)	96.26
Número final de pasadas	16769

### **Camiones C3S2**

Carga Simple Equivalente (KN)	89.58
Número final de pasadas	4913

### **Camiones C2**

Carga Simple Equivalente (KN)	50.4
Número final de pasadas	24

### **Volteos**

Carga Simple Equivalente (KN)	44.8
Número final de pasadas	40

## **ESPESOR TOMADO PARA VÍAS DE CIRCULACIÓN**

CARGA MÁXIMA EQUIVALENTE (Tn)	64.855
No. TOTAL DE PASADAS	379027
ESPESOR H10 (mm)	600
ESPESOR H30 (mm)	420

**CONCRETO H30 = 42.00 cm.** Determinado por la carga máxima y la totalidad de pasadas al finalizar el periodo de diseño .

Resistencia a la Flexión = 4.0 MPa

### 6.3.2 DIMENSIONAMIENTO DE PATIOS

- Tasa de Crecimiento del Tránsito**

Se tomará una tasa de crecimiento estándar para todos los patios equivalente a la obtenida para las vías de circulación, ya que se observa un aumento proporcional de vehículos en todas las zonas del puerto(6.82%). Para un periodo de diseño de 20 años.

- Composición del Tránsito**

Compos. del Tránsito		TPD
<b>PATIO 1</b>		
Camión C3	20.00%	70
Trailer Taylor	17.14%	60
Elevador kalmar	8.57%	30
ReachSteakerTerex	8.57%	30
Top Loader	45.71%	160
<b>PATIO 1A</b>		
Camión C3	26.92%	70
Trailer Taylor	23.08%	60
Elevador kalmar	11.54%	30
Top Loader	34.62%	90
ReachSteaker Kalmar	3.85%	10
<b>PATIO 2</b>		
Camión C3	25.00%	70
Trailer Taylor	21.43%	60
Elevador kalmar	10.71%	30
Top Loader	39.29%	110
ReachSteaker Kalmar	3.57%	10

<b>PATIO 3</b>		
Niñeras	10.34%	40
Camión C3S3 Tipo 1	6.98%	27
Camión C3S3 Tipo 2	5.17%	20
Camión C3S3 Tipo 3	25.84%	100
Trailer Taylor	15.50%	60
Elevador kalmar	7.75%	30
Top Loader	25.84%	100
ReachSteaker Kalmar	2.58%	10
<b>PATIO 4-5-ANCÓN</b>		
Cargador Frontal 980	34.29%	12
Cargador Frontal 992	34.29%	12
Cargador Frontal 966	31.43%	11

*Tabla 8. Composición del Tránsito - Zona de Patios*

Siguiendo con la misma metodología, se realizó el cálculo de los espesores para para la totalidad de los patios del terminal marítimo.

### 6.3.3 PATIO 1 - 1A – 2

CARGA MÁXIMA EQUIVALENTE (Tn)	35.19
No. TOTAL DE PASADAS	1160105.892
ESPESOR H10 (mm)	410
ESPESOR H30 (mm)	287

**CONCRETO H30 = 29.00 cm.** Determinado por el total de cargas equivalentes a la carga máxima y el número esperado de pasadas.

Resistencia a la Flexión = 4.0 MPa

### 6.3.4 PATIO 3, CENTRO

CARGA MÁXIMA EQUIVALENTE (Tn)	41.225
No. TOTAL DE PASADAS	1904723
ESPEJOR H10 (mm)	470
ESPEJOR H30 (mm)	329

**CONCRETO H30 = 33.00 cm** Resistencia a la Flexión = 4.0 Mpa

### 6.3.5 PATIO 4 – 5 – ANCÓN

CARGA MÁXIMA EQUIVALENTE (Tn)	64.855
No. TOTAL DE PASADAS	148894
ESPEJOR H10 (mm)	500
ESPEJOR H30 (mm)	350

**CONCRETO H30 = 35 cm.** Calculados a partir de la carga máxima correspondiente al cargador 992, el total de cargas equivalentes y el número final de pasadas.

Resistencia a la Flexión = 4.0 MPa

**Nota:** Las tablas correspondientes a los resultados de carga equivalente y número de pasadas esperadas para la totalidad de los vehículos en cada uno de los patios se encuentran en la sección Anexos.

## 6.4 DIMENSIONAMIENTO POR EL MÉTODO MECANÍSTICO

Para los diseños en revisión se utilizarán los siguientes coeficientes correspondientes al concreto hidráulico empleado en estructuras con pasadores:

$$K_d = 1/1.47$$

$$K_c = 1.5$$

$$K_r = 0.78$$

$$\sigma_6 = 2.15 \text{Mpa}$$

El esfuerzo de la estructura se obtiene a partir de un Software basado en el análisis de esfuerzos estructurales, compuesto por capas elásticas, una vez aplicadas las cargas correspondientes al tráfico existente. El valor obtenido se iguala al admisible y se establece el número de repeticiones que soporta la estructura, resultado que finalmente se compara con el número de repeticiones esperadas.

Los pasos en los que se desarrolló el modelamiento fueron:

1. Definir el número de capas de la estructura y algunas de las características propias de los materiales que las componen. El valor empleado como módulo para el concreto corresponde a las especificaciones de un concreto H30.

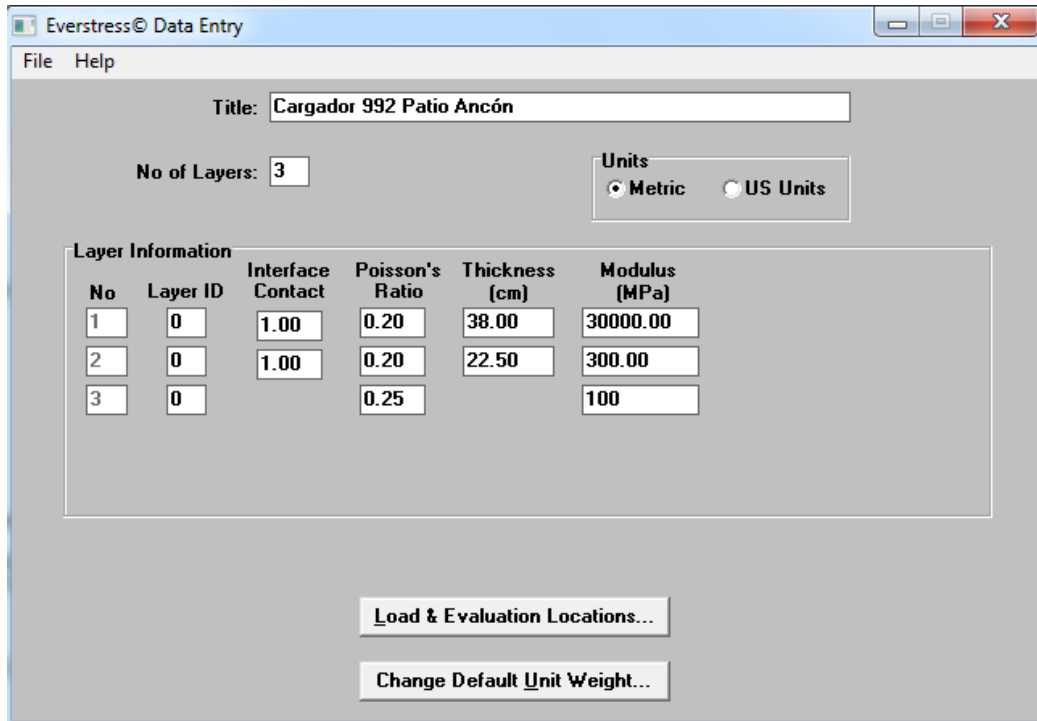


Figura 25. Modelamiento Everstress (1)

2. Determinar la densidad de cada capa, base (losa de concreto), subbase y subrasante.
3. Indicar la ubicación de las cargas del vehículo, la magnitud de las mismas, la presión de las llantas y los puntos en los que se desea obtener el valor de los esfuerzos admisibles dadas las condiciones de operación.

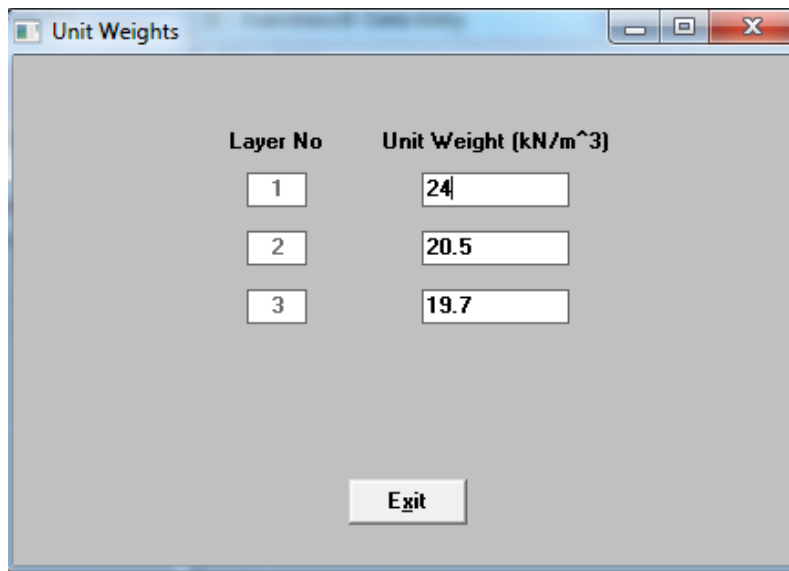


Figura 26. Modelamiento Everstress (2)

Load & Evaluation Points

No of Loads:  No of X-Y Evaluation Points:

**Load Information**

X-Position (cm):	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="589.00"/>	<input type="text" value="589.00"/>
Y-Position (cm):	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="536.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="536.00"/>
Load (N):	<input type="text" value="242500."/>	<input type="text" value="242500."/>	<input type="text" value="242500."/>	<input type="text" value="242500."/>
Pressure (kPa):	<input type="text" value="790.0"/>	<input type="text" value="790.0"/>	<input type="text" value="790.0"/>	<input type="text" value="790.0"/>
Radius (cm):	<input type="text" value="31.26"/>	<input type="text" value="31.26"/>	<input type="text" value="31.26"/>	<input type="text" value="31.26"/>

**Evaluation Points**

X-Position (cm):	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="589.00"/>
Y-Position (cm):	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Z-Position (cm):	<input type="text" value="37.999"/>	<input type="text" value="37.999"/>
Z-Position (cm):	<input type="text" value="60.499"/>	<input type="text" value="60.499"/>
Z-Position (cm):	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Z-Position (cm):	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Z-Position (cm):	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Figura 27. Modelamiento Everstress (3)

En la tabla número 9, encerrados en rojo, se muestran los valores que se emplean para verificar la capacidad de los pavimentos.

En este caso la carga corresponde a la del cargador 992G y la estructura es la del patio 4,5 y ancón.

Layered Elastic Analysis by EverStress for windows

Line

Title: 992 ancón

No of Layers: 3

No of Loads: 4

No of X-Y Evaluation Points: 2

Layer *	Poisson's Ratio	Thickness (cm)	Moduli(1) (MPa)
1	0.2	38	30000
2	0.2	22.5	300
3	0.25	*	100

Load No *	X-Position (cm)	Y-Position (cm)	Load (N)	Pressure (kPa)	Load (cm)	Pressure	Radius
1	0	0	242500	790	31.258		
2	0	536	242500	790	31.258		
3	589	0	242500	790	31.258		
4	589	536	242500	790	31.258		

Line

Line

Location No: 1 X-Position (cm): .000 Y-Position (cm): .000

Line

cNormal Stresses

Z-Position (cm) *	Layer (kPa)	Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)	Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy
37.999	1	1829.92	1813.29	-35.05	0.73	0.6	-9.56
60.499	2	17.66	17.35	-22.96	0.82	0.69	-0.21

Line

cNormal strains and Deflections

Z-Position (cm) *	Layer (10 <sup>-6</sup> )	Exx (10 <sup>-6</sup> )	Eyy (10 <sup>-6</sup> )	Ezz (microns)	Ux (microns)	Uy (microns)	Uz (microns)
37.999	1	49.14	48.48	-25.46	-4.135	-5.102	876.166
60.499	2	62.6	61.36	-99.86	-10.087	-11.874	851.325

Line

cPrincipal stresses and Strains

Z-Position (cm) *	Layer (kPa)	S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (10 <sup>-6</sup> )	E1 (10 <sup>-6</sup> )	E2 (10 <sup>-6</sup> )	E3
37.999	1	-35.05	1808.94	1834.27	-25.46	48.3	49.32
60.499	2	-22.98	17.27	17.77	-99.97	61.05	63.03

Line

Line

Location No: 2 X-Position (cm): 589.000 Y-Position (cm): .000

Line

cNormal Stresses

Z-Position (cm) *	Layer (kPa)	Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)	Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy
37.999	1	1829.92	1813.29	-35.05	0.73	-0.6	9.56
60.499	2	17.66	17.35	-22.96	0.82	-0.69	0.21

Line

cNormal strains and Deflections

Z-Position (cm) *	Layer (10 <sup>-6</sup> )	Exx (10 <sup>-6</sup> )	Eyy (10 <sup>-6</sup> )	Ezz (microns)	Ux (microns)	Uy (microns)	Uz (microns)
37.999	1	49.14	48.48	-25.46	4.135	-5.102	876.166
60.499	2	62.6	61.36	-99.86	10.087	-11.874	851.325

Line

cPrincipal stresses and Strains

Z-Position (cm) *	Layer (kPa)	S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (10 <sup>-6</sup> )	E1 (10 <sup>-6</sup> )	E2 (10 <sup>-6</sup> )	E3
37.999	1	-35.05	1808.94	1834.27	-25.46	48.3	49.32
60.499	2	-22.98	17.27	17.77	-99.97	61.05	63.03

Tabla 9. Resultados Modelamiento

4. De los resultados obtenidos se obtienen los esfuerzos admisibles para cada capa en los puntos indicados durante la entrada de datos y se toma el mayor de esfuerzo para la capa de base.
5. Mediante la fórmula  $\sigma_{t-ad} = \sigma_t(NE) \cdot K_r \cdot K_d \cdot K_c$ , y empleando el valor de esfuerzo admisible obtenido del modelamiento, se calcula el valor de repeticiones de carga admisibles para la estructura de pavimento.
6. Se comparan las repeticiones admisibles con las esperadas al finalizar el periodo de diseño y se determina si la estructura puede o no cumplir con lo solicitado.

## 6.5 RESULTADOS OBTENIDOS

Para el ejemplo correspondiente al cargador 992G en la estructura del patio 4,5 y ancón, se obtuvo un esfuerzo de 1.834 MPa. Mediante la utilización de la ley de la fatiga  $\sigma_{t-ad} = \sigma_t(NE) \cdot K_r \cdot K_d \cdot K_c$ , se obtiene el número de pasadas admisibles, que se comparan con el número de pasadas esperadas.

No Pasadas Admisible = 329.431,22

No Pasadas Esperdas = 176.070,18

% de Consumo = 53 %

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos para la totalidad de los equipos en cada uno de los patios.

PATIO 4-5-ANCÓN				
Vehículo	$\sigma_{adm}$ (Mpa)	No. Pasadas Adm.	No. Pasadas Esperadas	% Consumo
Cargador 966	0.7978	2.01E+11	161,397.66	0.000%
Cargador 980	1.3494	44,736,344.85	176,070.18	0.394%
Cargador 992	1.8342	329,431.2278	176,070.18	53%
				53.84%

VÍAS DE CIRCULACIÓN				
Vehículo	$\sigma_{adm}$ (Mpa)	No. Pasadas Adm.	No. Pasadas Esperadas	% Consumo
Cargador 992	1.74	765,814.91	293,450.29	38%
Grúa Liberth	1.9427	131,346.94	29,345.03	22%
Grúa P&H	1.1383	680,462,218.91	29,345.03	0.004%
ReachSteakerTerex	1.6604	1,619,974.56	146,725.15	9.057%
Top Loader	1.1864	350,924,413.13	264,105.26	0.075%
Camiones C3S3	0.8306	1.054E+11	4,401,754.38	0.004%
Camiones C3S2	1.1047	1.099E+09	2,200,877.19	0.200%
Camiones C2	0.477	7.527E+14	880,350.88	0.000%
Volteos	0.477	7.527E+14	1,467,251.46	0.000%
				70.00%

PATIO 1-1A-2				
Vehículo	$\sigma_{adm}$ (Mpa)	No. Pasadas Adm.	No. Pasadas Esperadas	% Consumo
Camión C3S3	0.8018	1.853E+11	1,027,076.02	0%
Trailer Taylor	1.494	8,776,113.49	880,350.88	10%
Elevador Kalmar	1.5384	5,492,922.24	440,175.44	8%
ReachSteakerTerex	1.6892	1,230,310.21	440,175.44	36%
Top Loader	1.5232	6,438,740.08	2,347,602.34	36%
				90.28%

PATIO 3,CENTRO				
Vehículo	$\sigma_{adm}$ (Mpa)	No. Pasadas Adm.	No. Pasadas Esperadas	% Consumo
Niñeras	0.4312	3.78E+15	586,900.58	0.000%
Camión C3S3 tpd 20	0.588	2.65E+13	293,450.29	0.000%
Camión C3S3 tpd 27	0.8151	1.42E+11	396,157.89	0.000%
Camión C3S3 tpd 100	0.8306	1.05E+11	1,467,251.46	0.001%
Trailer Taylor	1.4803	10,169,883.18	880,350.88	9%
Elevador Kalmar	1.5273	6,167,684.68	440,175.44	7.137%
Top Loader	1.6104	2,642,235.97	1,467,251.46	56%
ReachSteaker Kalmar	1.7555	664,505.30	146,725.15	22%
				93.41%

Para obtener un consumo de fatiga < 100% fue necesario incrementar los espesores obtenidos por el método de la BPA.

Por este método se obtienen los siguientes espesores:

<b>Zona</b>	<b>Subbase (cm)</b>	<b>Base -Losa de Concreto (cm)</b>	<b>% de incremento en el espesor respecto al de la BPA</b>
Vías de Circulación	15	50	19
Patios 1, 1a, 2	15	35	20,7
Patios 3, centro	22.5	38	15,15
Patios 4, 5, ancón	22.5	38	8,6

Lo anterior demuestra que aunque sean confiables los métodos de dimensionamiento, no son exactos y precisos, por lo cual es recomendable realizar la evaluación de este tipo de proyectos por medio de diferentes alternativas que permitan tomar la mejor decisión.

## **7. DISEÑO DE JUNTAS Y PASADORES DE CARGA PARA PAVIMENTO RÍGIDO**

Tienen como objetivo principal, el control de la fisuración y agrietamiento natural que sufre el concreto durante el proceso constructivo y de uso.

Además, tienen las siguientes funciones:

- ✓ Controlar el agrietamiento transversal y longitudinal.
- ✓ Dividir el pavimento en secciones adecuadas para el proceso constructivo.
- ✓ Permitir el movimiento y alabeo de las losas por efecto de las cargas de tránsito.
- ✓ Permitir la transferencia de cargas entre losas.

El diseño se realiza teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Condiciones ambientales
- ✓ Espesor de losa
- ✓ Sistema de transferencia de carga
- ✓ Tránsito
- ✓ Características de los materiales
- ✓ Tipo de subbase
- ✓ Características del material sellante
- ✓ Diseño del hombro

Los tipos más comunes de juntas son las siguientes:

- ✓ Juntas Transversales de Construcción
- ✓ Juntas Transversales de Expansión
- ✓ Juntas Transversales de Contracción

- ✓ Juntas longitudinales de Contracción
- ✓ Juntas longitudinales de Construcción

Para efectos se recomienda utilizar Juntas transversales de expansión con Dovelas, donde la longitud de las juntas varía dependiendo del espesor de la losa.

### **7.1 Diseño de Juntas**

La profundidad del corte de junta es,  $1/3$  del espesor de la losa.

La profundidad del material de sellado, es  $1/5$  de la profundidad de la losa.

El ancho de corte de la junta es  $1/10$  de la profundidad de la junta.

### **7.2 Diseño de dovelas**

El diámetro de la dovela, es de  $1/8$  del espesor de la losa. Se debe convertir a un diámetro comercial.

El largo de la dovela es igual a 12 veces su diámetro más 5 centímetros.

La profundidad de instalación de la dovela es  $1/2$  el espesor de la losa.

La separación recomendable entre dovelas para todos los espesores es de 30 cm.

Para el Terminal Marítimo de Santa Marta

### **Patios 1, 1A, 2**

Espesor de la Losa:	35 cm
Profundidad de corte de juntas:	11.67 cm
Profundidad del material sellado:	2.33 cm
Ancho de corte para la junta:	1.17 cm

Diámetro de la dovela:	4.37 cm
Diámetro comercial:	1 3/4 ''
Largo de la dovela:	58 cm
Profundidad de Instalación:	17.50 cm
Separación:	30 cm

### **Patios 3, centro**

Espesor de la Losa:	38 cm
Profundidad de corte de juntas:	12.6 cm
Profundidad del material sellado:	2.53 cm
Ancho de corte para la junta:	1.26 cm

Diámetro de la dovela:	4.75 cm
Diámetro comercial:	2 ''
Largo de la dovela:	62 cm
Profundidad de Instalación:	19 cm
Separación:	30 cm

### **Patios 4, 5, Ancón**

Espesor de la Losa:	38 cm
Profundidad de corte de juntas:	12.6 cm
Profundidad del material sellado:	2.53 cm
Ancho de corte para la junta:	1.26 cm

Diámetro de la dovela:	4.75 cm
------------------------	---------

Diámetro comercial:	2 ''
Largo de la dovela:	62 cm
Profundidad de Instalación:	19 cm
Separación:	30 cm

### **Vías de Circulación**

Espesor de la Losa:	50 cm
Profundidad de corte de juntas:	16.7 cm
Profundidad del material sellado:	3.3 cm
Ancho de corte para la junta:	1.7 cm

Diámetro de la dovela:	6.25 cm
Diámetro comercial:	2 1/2''
Largo de la dovela:	80 cm
Profundidad de Instalación:	25 cm
Separación:	30 cm

Para efectos de este proyecto se propone un espaciamiento entre juntas de 4,5m que se podría aumentar hasta 6 m teniendo en cuenta el espesor de la losa.

Para prevenir la infiltración de agua a través de las juntas, estas deben sellarse con un producto que se adhiera y sea resistente a la intemperie, tipo IGAS-K o un producto similar.

## 8. EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LOS PAVIMENTOS DE SANTA MARTA

El propósito de la inspección de pavimentos es determinar el porcentaje de área afectada en la vía, estableciendo el tipo de daños que se presentan, su extensión y severidad, factores que ayudan a interpretar las posibles causas del deterioro y así establecer las alternativas de reparación más adecuadas para contrarrestar los factores que generan estos daños.

Para ilustrar mejor lo anterior, se muestra un Diseño real propuesto y ejecutado por la Sociedad Portuaria de Santa Marta.

La empresa TECNISUELOS LTDA, en Marzo de 1998, propuso un dimensionamiento de subbase y base, para varias zonas del terminal marítimo de Santa Marta. El diseño y los parámetros tenidos en cuenta se describen a continuación:

*Después de desarrollar el estudio de suelos en varias zonas del puerto se encontraron suelos buenos donde el CBR, varía entre 6 y 12.5 %. En cuanto a la evaluación de tráfico se realiza de la siguiente manera:*

*TPD = 300 ; TPD camiones = 270*

*Mulas Carboneras (70 Ton): 30%*

*Camiones Bananeros (10 Ton): 40%*

*Camiones de Carga General (5.3 ton -20 ton): 20%*

*Grúa de 24 ejes dobles (400 ton)*

*Grúa de 16 ejes dobles (200 ton)*

*Montacargas de 2 ejes simples 26 ton*

*Ya que no se tiene una discriminación por peso de los ejes de cada vehículo se tomarán como referencia los siguientes valores dados por la P.C.A:*

*Carga máxima eje simple: 151 KN*

*Carga máxima eje tándem: 267 KN*

*Carga máxima eje tridem: 284 KN*

*El diseño de los espesores se realiza con el método de la PCA-84.*

*Datos para el Diseño:*

*Módulo de reacción conjunto subrasante – subbase: 184 MPa/m*

*Subbase en suelo cemento: espesor 0.150 m.*

*Resistencia a la flexión del concreto 4.1 MPa.*

*Factor de Seguridad por carga: 1.2*

*Periodo de diseño: 20 años*

*El dimensionamiento da como resultado un espesor de losa de 250 mm, pero debido a que las Grúas para manejo de contenedores poseen cargas altas, se recomienda utilizar una losa de concreto de 270 mm.*

Observando el procedimiento y los resultados obtenidos por la empresa TECNISUELOS LTDA, se concluye que a los pavimentos existentes les falta capacidad estructural, lo cual puede deberse a la no consideración y proyección de la totalidad de las cargas existentes y a la inexactitud de estos métodos en este tipo de estructuras. Los efectos pueden evidenciarse en el estado de daño en el que se encuentra.

El dimensionamiento fue propuesto en marzo de 1998 con un periodo de diseño de 20 años.

En Mayo del 2010, es decir 12 años después de la construcción del diseño anterior, se realiza la evaluación del estado del pavimento en las diferentes zonas del Puerto de Santa Marta utilizando la metodología y procedimientos propuestos por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), obteniendo el siguiente diagnóstico.

A continuación se muestran algunas de las fallas encontradas por patio:

### **Patio 1 y Patio 2**

Zona donde transitan los equipos más pesados y es zona de contenedores.



Figura 28. Grieta en bloque (1)



Figura 29. Grieta en bloque (2)

- *Grietas en bloque o fracturación múltiple:*

Descripción:

Son la unión de grietas longitudinales y transversales formando bloques a lo largo de la placa. Aunque se presenta en todos los tipos de pavimentos rígidos, es más frecuente que se presente en pavimentos de concreto simple o concreto reforzado.

Causa:

Se debe principalmente a contracción, debida a ciclos diarios de temperatura, también por las repeticiones continuas de carga (fatiga del pavimento) y ocurren sobre una gran área del pavimento y es posible encontrarlas en áreas sin tráfico. La severidad de la grieta es Alta.



Figura 30. Grieta en pozos de alcantarillados

- *Grietas en Pozos alcantarillas osumideros:*

Descripción:

Se atribuye a la variación en la distribución de esfuerzos debida a la presencia de pozos, alcantarillas o sumideros, estos se convierten en una

zona vulnerable a la aparición de grietas derivadas de la geometría irregular de la zona adyacente al pozo que no permite

una buena distribución de esfuerzos (de acuerdo con las reglas para la modulación de losas, estas deben ser lo más regulares posibles, cuando hay formas irregulares, las placas se deben reforzar). El nivel de severidad es alto debido a que las aberturas son mayores a 10 mm y se presenta escalonamiento mayor a 6 mm.

Causa:

La causa principal es la variación de la geometría y de los esfuerzos debido a la presencia de alcantarillas o sumideros que son necesarios en las vías.



Figura 31. Losas destrozadas

- *Losas Destrozadas:*

Descripción:

Son grietas que rompen la losa en cuatro o más pedazos. Cuando alcanzan máxima severidad se considera la losa destrozada.

Causa:

Son causadas por efecto de sobrecargas superiores a las admisibles o un inadecuado soporte.



Figura 32. Desintegración

- *Desintegración:*

**Descripción:**

Consiste en la pérdida constante de agregado grueso en la superficie, debido a la progresiva desintegración de la superficie por pérdida del material fino desprendido de matriz arena-cemento del concreto, provocando una superficie con pequeñas cavidades.

**Causa:**

La causa más probable es el efecto abrasivo del tránsito y el exceso de carga sobre el pavimento sobre concretos de calidad pobre o de mucho tiempo de servicio, como también se pudo tener deficiencias en el proceso constructivo. Es de severidad alta debido a que se extiende sobre la superficie dando una sensación rugosa, formando pequeños baches en la superficie.

## **Avenidas de Conexión entre Patios**

Zona donde transitan la mayoría de camiones C-6 con un TPD alto.



Figura 33. Grietas transversales



Figura 34. Grietas de Esquina

- ***Grietas de Esquina:***

Descripción:

Se presenta generalmente al interceptar la junta longitudinal y la transversal, este tipo de daño se presenta en losas de concreto simple y reforzado.

Causa:

Las posibles causas pueden ser sobrecarga en las esquinas, deficiente transmisión de cargas en las losas adyacentes, asentamiento de la base y/o la subrasante. La severidad es Alta debido a que la abertura es mayor a 10 mm.

- *Grietas Longitudinales y Transversales:*

Descripción:

Dividen la losa en dos o tres piezas. Normalmente las grietas de bajo nivel son estables y no originan un deterioro estructural importante. Las grietas de nivel medio y máximo son de fatiga del material y se consideran como potenciales generadoras de daño estructural importante.

Causa:

Este tipo de daño se debe a la combinación de cargas repetidas y contracción o retracción del hormigón.

Las grietas longitudinales con causadas por la erosión de la base del hormigón (por deficiencia en las juntas longitudinales) y a subbases expansivas.

Las grietas transversales son provocadas por: Sobrecargas, repetidas, falla debida a fundaciones blandas, ciclos de hielo-deshielo, falta de juntas o juntas mal ejecutadas.

### ✚ **Patio 3,4,5, Ancón y Centro**

La intensidad de la carga es menor a las anteriores zonas.



Figura 35. Desportillamiento de Juntas

- *Desportillamiento de Juntas,*

Descripción:

Es la desintegración de las aristas de una junta (longitudinal, transversal), con pérdida de trozos, que pueden afectar hasta 0.15 m a lado y lado de la junta. Este tipo de deterioro se presenta en todo los tipos de pavimento.

Causa:

Las posibles causas son el debilitamiento del borde de la junto debido a procesos constructivos, presencia de material incomprensible en la junta el cual al expandirse genera concentración de esfuerzos y la posterior falla ante el paso de los vehículos, aplicación de cargas antes de conseguir la resistencia mínima recomendada del concreto. La severidad es Alta debido

a que las fracturas se extienden a lo largo en más de 80 mm, las piezas o trozos tienen una profundidad de más de 25mm.

- *Deterioro del Sello*

Descripción:

Desprendimiento o rompimiento del sello de las juntas longitudinales o transversales, que permite la entrada de materiales incompresibles e infiltración de agua superficial.

Causas:

Las posibles causas pueden ser la pérdida de la adherencia entre el sello y la placa, exceso de material de sello, crecimiento de vegetación debido a la humedad en el sello. El nivel de severidad es Alto debido a que el 25% de la longitud tiene deficiencia en el sellado, el cambio y resellado debería ser inmediato.

- También se observan *grietas de esquina, grietas longitudinales y transversales*, que en fotos anteriores fueron detalladamente explicadas.

## CONCLUSIONES

- Debido al comportamiento de los materiales y capas estructurales, se considera que el pavimento rígido es el más apropiado para este tipo de proyectos, dadas las condiciones de carga, temperatura y velocidad de operación.
- Se propone construir un Pavimento Rígido con dovelas, donde su espesor de losa varía de acuerdo a la zona del Terminal Marítimo, dependiendo de las solicitudes y especificaciones requeridas.
- Aunque sean confiables los métodos de dimensionamiento, no son exactos y precisos, por lo cual es recomendable realizar la evaluación de este tipo de proyectos por medio de diferentes alternativas que permitan tomar la mejor decisión.
- El tema corresponde a una larga línea de investigación que sería de gran importancia y utilidad continuar con el fin de lograr además de un manual de diseño de pavimentos para terminales marítimos, un avance técnico en la ejecución de obras de esta magnitud.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ✓ IDIEM Septiembre 1999, ***“Manual de Diseño de Pavimentos para Puertos Chilenos”***, Dirección de Obras Portuarias, Ministerio de Obras Públicas.
- ✓ Comisión Técnica de la Presidencia de los Puertos del Estado 1990, ***“Recomendaciones para obras marítimas (ROM)”***
- ✓ Universidad Técnica Federico Santa María, ***“Análisis Mecanicista de Pavimentos (Hormigón) de tipo Portuario***, Departamento de Obras Civiles.
- ✓ INVIAS Octubre de 2006, ***“Manual para la Inspección Visual de Pavimentos flexible”*** Universidad Nacional De Colombia.
- ✓ INVIAS, ***“Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto”***, ICPC
- ✓ Secretaria de Integración económica Centroamericana Noviembre 2002, ***“Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos”***, Ingeniero Jorge Coronado.

## 9. ANEXOS

### DISTRIBUCIÓN DE CARGAS

b) Cargador Lateral:

*Calculo tipo: En el Puerto marítimo de Santa marta se encuentran cargadores laterales tales como las grúas Libergh y P&H.*

*Grúa Libergh*

*Peso propio = 410 Ton  
=24 ruedas*

*Peso Contenedor =100 Ton*

*M*

*Como se necesita es la carga de cada rueda para planta cargada se despeja la variable  $U_i$ , de esta manera:*

$$U_i = \frac{W_i}{fd} - \frac{W_c}{M} \quad U_i = 21.25 \text{ ton por rueda}$$

c) Grúa automóvil:

*Calculo tipo: En el Puerto marítimo de Santa marta se encuentran Grúas automóvil como la grúa Top Loader.*

*Top Loader*

*Peso propio =52 ton*

*Carga = 42 ton*

*Mdel=4 ruedas*

*Mtra =2 ruedas*

*Peso total =52 +42 = 94 ton*

*Peso por eje =94 /2 = 47 ton*

Peso por rueda del =  $47/4 = 11.75$  ton      Peso por rueda Tras =  $47/2 = 23.5$  Ton

d) Tractor más semirremolque

Calculo tipo: En el Puerto marítimo de Santa marta se encuentran tractores con semirremolque tales como los camiones C5, C6, niñeras y los camiones con tráiler Taylor.

Remolque con tráiler Taylor

Peso propio = 17 Ton      Carga = 36 Ton       $X_2 = 5.207$  m  $X_3 = 9.780$  m  
 $X_c = 5.950$  m

$X_B = 6.0$  m       $U_1 = 2.58$  ton  $U_2 = 6.67$  ton  $U_3 = 6.67$  ton

La distribución de las cargas por rueda para el semirremolque no cargado, están dadas por los porcentajes que da el método de la PCA.

$$A = \frac{5.950}{9.780} = 0.61$$

$$A = \frac{6.0}{5.950} = 1.15$$

$$W_1 = \left( 2.58 + \frac{36 * (1 - 0.61)(1 - 1.15)}{2} \right) = 1.527 \text{ Ton}$$

$$W_2 = \left( 6.67 + \frac{36 * (1 - 0.61) * 1.15}{4} \right) = 10.71 \text{ Ton} \quad W_3 = \left( 6.67 + \frac{36 * 0.61}{8} \right) = 9.415 \text{ Ton}$$

## APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LA BPA

EQUIPO	TOP LOADER	
<b>DATOS</b>		
Peso de la grúa no cargada	52	Tn
Peso de contenedor crítico	42	Tn
Ancho de pista	4.5	m
Espaciamiento de rueda	6000	mm
Número estimado de pasadas durante su vida de diseño	264105	pas
CBR del suelo	12.50	
<b>VERIFICACIÓN DE ESPESORES</b>		
Espesor de coronación	No requiere	mm
Espesor de Subbase	150	mm
<b>ESPECIFICACIONES DE EQUIPO</b>		
No. Total de ruedas en planta	6	
Eje 1	4	
Eje 2	0	
Eje 3	0	
Eje 4	0	
Eje 5	0	
Eje 6	2	
<b>Carga de rueda en planta(Peso propio+Carga)</b>		
Eje 1	11.75	Tn
Eje 2	0	Tn
Eje 3	0	Tn
Eje 4	0	Tn
Eje 5	0	Tn
Eje 6	23.5	Tn
fd (frenado)	30	
fd (operación de esquina)	40	
Relación distancias entre ejes	1	
% frenado	30	
<b>PROFUNDIDAD EFECTIVA</b>	1962.64	
<b>FACTOR DE PROXIMIDAD</b>	1	
<b>Carga efectiva estática de rueda</b>		
Eje 1	11.75	Tn
Eje 2	0	Tn
Eje 3	0	Tn
Eje 4	0	Tn
Eje 5	0	Tn
Eje 6	23.5	Tn
<b>Carga por rueda( incluido fd)</b>		
Eje 1	19.975	Tn
Eje 2	0	Tn
Eje 3	0	Tn
Eje 4	0	Tn
Eje 5	0	Tn
Eje 6	25.85	Tn
<b>NUMERO FINAL DE PASADAS</b>		
Eje 1	0.01208	pas. Carga max.
Eje 2	0.00000	pas. Carga max.
Eje 3	0.00000	pas. Carga max.
Eje 4	0.00000	pas. Carga max.
Eje 5	0.00000	pas. Carga max.
Eje 6	0.03176	pas. Carga max.
Total pasadas	0.044	
<b>No. Total repeticiones de Carga</b>		<b>11579</b>

<b>EQUIPO</b>	<b>REACH STEAKER</b>	
<b>DATOS</b>		
Peso de la grúa no cargada	40	Tn
Peso de contenedor crítico	37	Tn
Ancho de pista	4.5	m
Espaciamiento de rueda	5715	mm
Número estimado de pasadas durante su vida de diseño	146726	pas
CBR del suelo	12.50	
<b>VERIFICACIÓN DE ESPESORES</b>		
Espesor de coronación	No requiere	mm
Espesor de Subbase	150	mm
<b>ESPECIFICACIONES DE EQUIPO</b>		
No. Total de ruedas en planta	6	
Eje 1	4	
Eje 2	0	
Eje 3	0	
Eje 4	0	
Eje 5	0	
Eje 6	2	
<b>Carga de rueda en planta(Peso propio+Carga)</b>		
Eje 1	18.75	Tn
Eje 2	0	Tn
Eje 3	0	Tn
Eje 4	0	Tn
Eje 5	0	Tn
Eje 6	1	Tn
fd (frenado)	30	
fd (operación de esquina)	40	
Relación distancias entre ejes	1	
% frenado	30	
<b>PROFUNDIDAD EFECTIVA</b>	1962.64	
<b>FACTOR DE PROXIMIDAD</b>	1	
<b>Carga efectiva estática de rueda</b>		
Eje 1	18.75	Tn
Eje 2	0	Tn
Eje 3	0	Tn
Eje 4	0	Tn
Eje 5	0	Tn
Eje 6	1	Tn
<b>Carga por rueda( incluido fd)</b>		
Eje 1	31.875	Tn
Eje 2	0	Tn
Eje 3	0	Tn
Eje 4	0	Tn
Eje 5	0	Tn
Eje 6	20.625	Tn
<b>NUMERO FINAL DE PASADAS</b>		
Eje 1	0.06969	pas. Carga max.
Eje 2	0.00000	pas. Carga max.
Eje 3	0.00000	pas. Carga max.
Eje 4	0.00000	pas. Carga max.
Eje 5	0.00000	pas. Carga max.
Eje 6	0.01362	pas. Carga max.
Total pasadas	0.083	
<b>No. Total repeticiones de Carga</b>		
		<b>12223</b>

<b>EQUIPO</b>	<b>LIBERGH</b>	
<b>DATOS</b>		
Peso de la grúa no cargada	410	Tn
Peso de contenedor crítico	100	Tn
Ancho de pista	4.5	m
Espaciamiento de rueda	1680-1680-8350-1680-1680	mm
Número estimado de pasadas durante su vida de diseño	29345	pas
CBR del suelo	12.50	
<b>VERIFICACIÓN DE ESPESORES</b>		
Espesor de coronación	No requiere	mm
Espesor de Subbase	150	mm
<b>ESPECIFICACIONES DE EQUIPO</b>		
No. Total de ruedas en planta	24	
Eje 1	4	
Eje 2	4	
Eje 3	4	
Eje 4	4	
Eje 5	4	
Eje 6	4	
<b>Carga de rueda en planta(Peso propio+Carga)</b>		
Eje 1	21.25	Tn
Eje 2	21.25	Tn
Eje 3	21.25	Tn
Eje 4	21.25	Tn
Eje 5	21.25	Tn
Eje 6	21.25	Tn
fd (frenado)	20	
fd (operación de esquina)	30	
Relación distancias entre ejes	0.55	
% frenado	11	
<b>PROFUNDIDAD EFECTIVA</b>	1962.64	
<b>FACTOR DE PROXIMIDAD</b>	1.32	
<b>Carga efectiva estática de rueda</b>		
Eje 1	28.05	Tn
Eje 2	28.05	Tn
Eje 3	28.05	Tn
Eje 4	28.05	Tn
Eje 5	28.05	Tn
Eje 6	28.05	Tn
<b>Carga por rueda( incluido fd)</b>		
Eje 1	42.075	Tn
Eje 2	36.465	Tn
Eje 3	39.551	Tn
Eje 4	33.380	Tn
Eje 5	36.465	Tn
Eje 6	30.855	Tn
<b>NUMERO FINAL DE PASADAS</b>		
Eje 1	0.19738	pas. Carga max.
Eje 2	0.11541	pas. Carga max.
Eje 3	0.15651	pas. Carga max.
Eje 4	0.08284	pas. Carga max.
Eje 5	0.11541	pas. Carga max.
Eje 6	0.06169	pas. Carga max.
Total pasadas	0.729	
<b>No. Total repeticiones de Carga</b>	<b>21399</b>	

<b>EQUIPO</b>	<b>P&amp;H</b>	
<b>DATOS</b>		
Peso de la grúa no cargada	120	Tn
Peso de contenedor crítico	64	Tn
Ancho de pista	4.5	m
Espaciamiento de rueda	4500-1310-6480-1310-1310	mm
Número estimado de pasadas durante su vida de diseño	29345	pas
CBR del suelo	12.50	
<b>VERIFICACIÓN DE ESPESORES</b>		
Espesor de coronación	No requiere	mm
Espesor de Subbase	150	mm
<b>ESPECIFICACIONES DE EQUIPO</b>		
No. Total de ruedas en planta	22	
Eje 1	2	
Eje 2	4	
Eje 3	4	
Eje 4	4	
Eje 5	4	
Eje 6	4	
<b>Carga de rueda en planta(Peso propio+Carga)</b>		
Eje 1	3.3	Tn
Eje 2	18.05	Tn
Eje 3	18.05	Tn
Eje 4	26.3	Tn
Eje 5	26.3	Tn
Eje 6	26.3	Tn
fd (frenado)	10	
fd (operación de esquina)	30	
Relación distancias entre ejes	0.40	
% frenado	4	
<b>PROFUNDIDAD EFECTIVA</b>	1962.64	
<b>FACTOR DE PROXIMIDAD</b>	1.23	
<b>Carga efectiva estática de rueda</b>		
Eje 1	4.059	Tn
Eje 2	22.202	Tn
Eje 3	22.202	Tn
Eje 4	32.349	Tn
Eje 5	32.349	Tn
Eje 6	32.349	Tn
<b>Carga por rueda( incluido fd)</b>		
Eje 1	5.683	Tn
Eje 2	28.862	Tn
Eje 3	29.750	Tn
Eje 4	40.760	Tn
Eje 5	42.054	Tn
Eje 6	38.819	Tn
<b>NUMERO FINAL DE PASADAS</b>		
Eje 1	0.00011	pas. Carga max.
Eje 2	0.04802	pas. Carga max.
Eje 3	0.05380	pas. Carga max.
Eje 4	0.17522	pas. Carga max.
Eje 5	0.19701	pas. Carga max.
Eje 6	0.14592	pas. Carga max.
Total pasadas	0.620	
<b>No. Total repeticiones de Carga</b>	<b>18196</b>	

<b>EQUIPO</b>	<b>CAMIONES C3S3</b>	
<b>DATOS</b>		
Peso camion no cargada	17	Tn
Peso de contenedor crítico	35	Tn
Ancho de pista	4.5	m
Espaciamiento de rueda	4500-1310-6480-1310-1310	mm
Número estimado de pasadas durante su vida de diseño	4401755	pas
CBR del suelo	12.50	
<b>VERIFICACIÓN DE ESPESORES</b>		
Espesor de coronación	No requiere	mm
Espesor de Subbase	150	mm
<b>ESPECIFICACIONES DE EQUIPO</b>		
No. Total de ruedas en planta	22	
Eje 1	2	
Eje 2	4	
Eje 3	4	
Eje 4	4	
Eje 5	4	
Eje 6	4	
<b>Carga de rueda en planta(Peso propio+Carga)</b>		
Eje 1	3.3	Tn
Eje 2	4.65	Tn
Eje 3	4.65	Tn
Eje 4	6.7	Tn
Eje 5	6.7	Tn
Eje 6	6.7	Tn
fd (frenado)	10	
fd (operación de esquina)	30	
Relación distancias entre ejes	0.40	
% frenado	4	
<b>PROFUNDIDAD EFECTIVA</b>	1962.64	
<b>FACTOR DE PROXIMIDAD</b>	1.23	
<b>Carga efectiva estática de rueda</b>		
Eje 1	4.059	Tn
Eje 2	5.7195	Tn
Eje 3	5.7195	Tn
Eje 4	8.241	Tn
Eje 5	8.241	Tn
Eje 6	8.241	Tn
<b>Carga por rueda( incluido fd)</b>		
Eje 1	5.683	Tn
Eje 2	7.435	Tn
Eje 3	7.664	Tn
Eje 4	10.384	Tn
Eje 5	10.713	Tn
Eje 6	9.889	Tn
<b>NUMERO FINAL DE PASADAS</b>		
Eje 1	0.000108	pas. Carga max.
Eje 2	0.000297	pas. Carga max.
Eje 3	0.000333	pas. Carga max.
Eje 4	0.001039	pas. Carga max.
Eje 5	0.001168	pas. Carga max.
Eje 6	0.000865	pas. Carga max.
Total pasadas	0.004	
<b>No. Total repeticiones de Carga</b>	<b>16769</b>	

<b>EQUIPO</b>	<b>CAMIONES C3S2</b>	
<b>DATOS</b>		
Peso camion no cargada	15	Tn
Peso de contenedor crítico	33	Tn
Ancho de pista	4.5	m
Espaciamiento de rueda	4500-1310-8930-1360	mm
Número estimado de pasadas durante su vida de diseño	2200878	pas
CBR del suelo	12.50	
<b>VERIFICACIÓN DE ESPESORES</b>		
Espesor de coronación	No requiere	mm
Espesor de Subbase	150	mm
<b>ESPECIFICACIONES DE EQUIPO</b>		
No. Total de ruedas en planta	18	
Eje 1	2	
Eje 2	4	
Eje 3	4	
Eje 4	4	
Eje 5	4	
Eje 6	0	
<b>Carga de rueda en planta(Peso propio+Carga)</b>		
Eje 1	3.3	Tn
Eje 2	5.38	Tn
Eje 3	5.38	Tn
Eje 4	5.38	Tn
Eje 5	5.38	Tn
Eje 6	0	Tn
fd (frenado)	10	
fd (operación de esquina)	30	
Relación distancias entre ejes	0.42	
% frenado	4	
<b>PROFUNDIDAD EFECTIVA</b>	1962.64	
<b>FACTOR DE PROXIMIDAD</b>	1.24	
<b>Carga efectiva estática de rueda</b>		
Eje 1	4.092	Tn
Eje 2	6.671	Tn
Eje 3	6.671	Tn
Eje 4	6.671	Tn
Eje 5	6.671	Tn
Eje 6	0	Tn
<b>Carga por rueda( incluido fd)</b>		
Eje 1	5.729	Tn
Eje 2	8.673	Tn
Eje 3	8.953	Tn
Eje 4	8.392	Tn
Eje 5	8.673	Tn
Eje 6	0	Tn
<b>NUMERO FINAL DE PASADAS</b>		
Eje 1	0.0001	pas. Carga max.
Eje 2	0.0005	pas. Carga max.
Eje 3	0.0006	pas. Carga max.
Eje 4	0.0005	pas. Carga max.
Eje 5	0.0005	pas. Carga max.
Eje 6	0.0000	pas. Carga max.
Total pasadas	0.002	
<b>No. Total repeticiones de Carga</b>	<b>4913</b>	

<b>EQUIPO</b>	<b>CAMIONES C2</b>	
<b>DATOS</b>		
Peso de camión no cargado	6	Tn
Carga crítica	12	Tn
Ancho de pista	4.5	m
Espaciamiento de rueda	4730	mm
Número estimado de pasadas durante su vida de diseño	880351	pas
CBR del suelo	12.50	
<b>VERIFICACIÓN DE ESPESORES</b>		
Espesor de coronación	No requiere	mm
Espesor de Subbase	150	mm
<b>ESPECIFICACIONES DE EQUIPO</b>		
No. Total de ruedas en planta	6	
Eje 1	2	
Eje 2	0	
Eje 3	0	
Eje 4	0	
Eje 5	0	
Eje 6	4	
<b>Carga de rueda en planta(Peso propio+Carga)</b>		
Eje 1	3.6	Tn
Eje 2	0	Tn
Eje 3	0	Tn
Eje 4	0	Tn
Eje 5	0	Tn
Eje 6	2.7	Tn
fd (frenado)	10	
fd (operación de esquina)	30	
Relación distancias entre ejes	1	
% frenado	10	
<b>PROFUNDIDAD EFECTIVA</b>	1962.64	
<b>FACTOR DE PROXIMIDAD</b>	1	
<b>Carga efectiva estática de rueda</b>		
Eje 1	2.5	Tn
Eje 2	0	Tn
Eje 3	0	Tn
Eje 4	0	Tn
Eje 5	0	Tn
Eje 6	3.25	Tn
<b>Carga por rueda( incluido fd)</b>		
Eje 1	3.5	Tn
Eje 2	0	Tn
Eje 3	0	Tn
Eje 4	0	Tn
Eje 5	0	Tn
Eje 6	3	Tn
<b>NUMERO FINAL DE PASADAS</b>		
Eje 1	0.00002	pas. Carga max.
Eje 2	0.00000	pas. Carga max.
Eje 3	0.00000	pas. Carga max.
Eje 4	0.00000	pas. Carga max.
Eje 5	0.00000	pas. Carga max.
Eje 6	0.00001	pas. Carga max.
Total pasadas	0.0000	
<b>No. Total repeticiones de Carga</b>		<b>24</b>

<b>EQUIPO</b>	<b>VOLTEOS</b>	
<b>DATOS</b>		
Peso de camión no cargado	7	Tn
Carga crítica	9	Tn
Ancho de pista	4.5	m
Espaciamiento de rueda	3550	mm
Número estimado de pasadas durante su vida de diseño	1467252	pas
CBR del suelo	12.50	
<b>VERIFICACIÓN DE ESPESORES</b>		
Espesor de coronación	No requiere	mm
Espesor de Subbase	150	mm
<b>ESPECIFICACIONES DE EQUIPO</b>		
No. Total de ruedas en planta	6	
Eje 1	2	
Eje 2	0	
Eje 3	0	
Eje 4	0	
Eje 5	0	
Eje 6	4	
<b>Carga de rueda en planta(Peso propio+Carga)</b>		
Eje 1	3.2	Tn
Eje 2	0	Tn
Eje 3	0	Tn
Eje 4	0	Tn
Eje 5	0	Tn
Eje 6	2.4	Tn
fd (frenado)	10	
fd (operación de esquina)	30	
Relación distancias entre ejes	1	
% frenado	10	
<b>PROFUNDIDAD EFECTIVA</b>	1962.64	
<b>FACTOR DE PROXIMIDAD</b>	1	
<b>Carga efectiva estática de rueda</b>		
Eje 1	2.5	Tn
Eje 2	0	Tn
Eje 3	0	Tn
Eje 4	0	Tn
Eje 5	0	Tn
Eje 6	2.75	Tn
<b>Carga por rueda( incluido fd)</b>		
Eje 1	3.5	Tn
Eje 2	0	Tn
Eje 3	0	Tn
Eje 4	0	Tn
Eje 5	0	Tn
Eje 6	3	Tn
<b>NUMERO FINAL DE PASADAS</b>		
Eje 1	0.00002	pas. Carga max.
Eje 2	0.00000	pas. Carga max.
Eje 3	0.00000	pas. Carga max.
Eje 4	0.00000	pas. Carga max.
Eje 5	0.00000	pas. Carga max.
Eje 6	0.00001	pas. Carga max.
Total pasadas	0.0000	
<b>No. Total repeticiones de Carga</b>		
		<b>40</b>

## CALCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE PATIOS

✓ PATIO 1 - 1A - 2

✚ Determinación del Espesor:

### Top Loader

Carga Simple Equivalente	233.75	KN
Número final de pasadas	716927	

### Reach Steaker

Carga Simple Equivalente	351.90	KN
Número final de pasadas	220092	

### Camiones C3S3

Carga Simple Equivalente	86.90	KN
Número final de pasadas	2757	

### Cargador Kalmar

Carga Simple Equivalente	100.81	KN
Número final de pasadas	4095	

### Trailer Taylor

Carga Simple Equivalente	176.93	KN
Número final de pasadas	216235	

✓ **PATIO 3, CENTRO**

✚ **Determinación del Espesor:**

**Top Loader**

Carga Simple Equivalente	412.25	KN
Número final de pasadas	1'579.427	Pasadas

**Reach Steaker**

Carga Simple Equivalente	329.12	KN
Número final de pasadas	63195	Pasadas

**Niñeras**

Carga Simple Equivalente	48.69	KN
Número final de pasadas	238	Pasadas

**Camiones C3S3 (Tipo 1)**

Carga Simple Equivalente	117.25	KN
Número final de pasadas	3948	Pasadas

**Camiones C3S3 (Tipo 2)**

Carga Simple Equivalente	84.69	KN
Número final de pasadas	859	Pasadas

**Camiones C3S3 (Tipo 3)**

Carga Simple Equivalente	119.17	KN
Número final de pasadas	15842	Pasadas

### **Trailer Taylor**

Carga Simple Equivalente	219.77	KN
Número final de pasadas	238848	Pasadas

### **Cargador Kalmar**

Carga Simple Equivalente	100.81	KN
Número final de pasadas	2365	Pasadas

✓ **PATIO 4 – 5 – ANCÓN**

✚ **Determinación del Espesor:**

### **Cargador 992G**

Carga Simple Equivalente	648.55	KN
Número final de pasadas	147216	Pasadas

### **Cargador 980h**

Carga Simple Equivalente	190.57	KN
Número final de pasadas	1512	Pasadas

### **Cargador 966g**

Carga Simple Equivalente	105.57	KN
Número final de pasadas	167	Pasadas