



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Análisis Técnico - Financiero del Uso de Bases Estabilizadas
con Cemento en Patios de Contenedores usando ALIZE:
Caso Patios Cía. CITIKOLD**

AUTORA:

Baño Medina Evelyn Gissella

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERA CIVIL**

TUTOR:

Ing. Murillo Bustamante Roberto Miguel, M.B.A.

Guayaquil, Ecuador

10 DE SEPTIEMBRE DEL 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Baño Medina Evelyn Gissella**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera Civil**.

TUTOR

f. _____
Ing. Murillo Bustamante Roberto Miguel, M.B.A.

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____
Ing. Alcívar Bastidas Stefany Esther, Mgs.

Guayaquil, a los 10 días del mes de septiembre del año 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Baño Medina Evelyn Gissella**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Análisis Técnico - Financiero del Uso de Bases Estabilizadas con Cemento en Patios de Contenedores usando ALIZE: Caso Patios Cía. CITIKOLD** previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 10 días del mes de septiembre del año 2020

LA AUTORA

f. _____
Baño Medina Evelyn Gissella



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Baño Medina Evelyn Gissella**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Análisis Técnico - Financiero del Uso de Bases Estabilizadas con Cemento en Patios de Contenedores usando ALIZE: Caso Patios Cía. CITIKOLD**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 10 días del mes de septiembre del año 2020

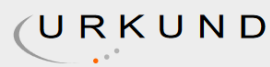
LA AUTORA:

f. _____
Baño Medina Evelyn Gissella



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Evelyn.Baño.pdf (D78120968)
Submitted: 8/24/2020 3:54:00 PM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 0 %

Sources included in the report:

Instances where selected sources appear:

0

Activar Windo
[Ir a Configuración](#)



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y permitir que aun siga siendo así, llenándome de bendiciones, sabiduría y sobre todo salud ya que en esta situación mundial es la que más importa y gracias a él aún seguimos aquí.

A mis Padres Luis Baño Moreno y Sonia Medina Ponce que han sido y seguirán siendo mi guía, mi agradecimiento infinito por todo el apoyo incondicional que me han brindado en todos los aspectos.

A mi Hijo Liam por ser mi motor para salir adelante juntos, eres la personita más importante en mi vida.

A mis hermanos que siempre me apoyan y me han ayudado en lo que han podido y sobre todo con su sobrino gracias por la paciencia que han tenido con él, cuando lo han tenido que cuidar cuando no he podido.

A mi tutor el Ing. Roberto Murillo por todo brindarme todo su tiempo, conocimiento, y valiosa ayuda en el trabajo de titulación.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación es dedicado a Dios ya que ha permitido que haya culminado una etapa más en vida.

También es dedicado a mi familia, mis padres ya que ellos siempre han estado para mí apoyándome en todo al igual que mis hermanos que han estado prestos a ayudarme cuando lo he necesitado.

Sobre todo, a mi hijo mi motivo principal por seguir adelante, mi fuerza mi motor.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas Stefany Esther, Mgs.
DIRECTORA DE CARRERA

f. _____

Ing. Marco Suarez Rodriguez
COORDINADOR DEL ÁREA O DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Jorge Vera Armijos.
OPONENTE

ÍNDICE

1) INTRODUCCION	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Principios de Diseño.....	3
1.3 Definición de las Bases Estabilizadas con Cemento o BEC	6
1.4 Problemática y Objeto de Estudio	8
1.5 Objetivos Generales	8
1.6 Objetivos Específicos	9
1.7 Hipótesis.....	9
1.8 Alcance.....	9
2) METODOLOGÍA.....	9
2.1 Tipo de Investigación	9
2.2 Delimitación del estudio.....	10
2.3 Diseño de investigación	10
2.4 Recolección de información	11
2.5 Estudio y datos del mercado	11
3) MARCO TEORICO.....	17
3.1 Bases Estabilizadas con Cemento	17
3.2 Beneficios DEL USO DE Cemento en estabilizaciones de suelos	22
3.3 Aplicaciones	23
3.4 Tipos de cemento usados	25
3.5 Proceso Constructivo	26
3.6 Regulaciones del Ministerio de Transporte y Obras PÚBLICAS	29
3.7 Procedimiento de Diseño Suelo - Cemento de la PCA	32
3.1 Procedimientos de Diseño de Pavimentos para Carga Pesada basado en el British Ports Associations Heavy Duty Pavements Manual.....	38
3.1.1 Generalidades	38

3.7.1	Materiales	40
3.1.1	Sistema de cargas en el pavimento	42
3.7.2	Periodo de Diseño	45
3.7.3	Diseño de capa base	45
3.7.4	Diseño de la estructura del pavimento.....	46
3.8	Uso del software ALIZE para análisis de estructuras	47
4)	CASO DE ESTUDIO	52
4.1	Patíos Cía. CITIKOLD en la ciudad de Guayaquil.....	52
4.2	Diseño de Pavimentos basado en el British Ports Associations Heavy Duty Pavements Manual	53
4.3	Comprobación de esfuerzos y deformaciones mediante ALIZE	59
3.1	Presupuesto OPCION 1: ADOQUIN CON LEAN CONCRETE Y BASE ESTABILIZADA CEMENTO.....	62
3.2	Presupuesto OPCION 2: ADOQUIN CON LEAN CONCRETE Y BASE DE Material Granular Importado	62
3.3	Presupuesto OPCION 3: ADOQUIN CON BASE ESTABILIZADA CEMENTO	63
3.4	Análisis Económico de las opciones presentadas	63
5)	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1	Conclusiones.....	64
5.2	Recomendaciones.....	66

Índice Figuras

Figura 1 Inversiones de las terminales portuarias.	3
Figura 2 Compactación del Suelo.	6
Figura 3 Aplicación de cal como método de estabilización del suelo.	7
Figura 4 Patio ARETINA S.A.	13
Figura 5 Patio BLASTI S.A.	14
Figura 6 Patio ROAD FEEDER.	14
Figura 7 Patio FARBEM S.A.	14
Figura 8 REPTCONVER.	15
Figura 9 Patio OPACIF S.A.	15
Figura 10 Patio REPCONTVER.	15
Figura 11 TASESA.	16
Figura 12 TERCON.	16
Figura 13 Patio DEPCON SA.	16
Figura 14 Capas de base granular y base estabilizada con cemento.	18
Figura 15 Sistema de Clasificación de suelo AASHTO.	19
Figura 16 Cemento hidráulico, Base vial – Holcim.	19
Figura 17 Ampliación Duran. Av. Nicolás Lapentti.	24
Figura 18 Paso elevado Aurora.	24
Figura 19 Paso lateras milagro.	24
Figura 20 Planta Holcim.	25
Figura 21 Pavimento en ciudadela Santa Leonor - Guayaquil.	25
Figura 22 Rodillo pata de cabra.	28
Figura 23 Rodillo liso vibratorio.	28
Figura 24 Apisonadores.	29
Figura 25 Material pobremente gradado.	31
Figura 26 Material bien gradado.	31
Figura 27 Carta de diseño de espesores para suelo - cemento granular.	36
Figura 28 Carta de diseño de espesor suelo cemento con gradación fina.	37
Figura 29 Modos de falla de servicio en pavimento flexible.	40
Figura 30 Ábaco de diseño de base para hormigón.	46
Figura 31 Modelos de falla en pavimentos - metodología racional.	48
Figura 32 Ingreso de datos al programa ALIZE.	51
Figura 33 Se define carga de diseño.	51
Figura 34 Resultados.	52
Figura 35 Ubicación CITIKOLD.	53
Figura 36 Reach stackers.	53
Figura 37 Capacidad reach stacker.	54
Figura 38 Abaco para espesor base para hormigón.	58
Figura 39 Introducción de datos.	61
Figura 40 Ingreso de datos.	61
Figura 41 Resultados.	61

Índice de Tablas

Tabla 1. Propiedades estructurales básicas de la base estabilizada con cemento.	4
Tabla 2 Sistema de clasificación AASHTO para el proceso de diseño para suelo - cemento	5
Tabla 3 Deposito de Contenedores fuera de zona portuaria en Guayaquil ..	13
Tabla 4 Valores Máximo permisible del contaminante en suelo.	20
Tabla 5 Requisitos del cemento según el tipo de suelo.	21
Tabla 6 Requisitos físicos normalizados del cemento hidráulico.	22
Tabla 7 Granulometría de la base a ser modificada. (Tabla 404.2.1)	31
Tabla 8. Resistencia mínima a compresión.	33
Tabla 9. Resistencia mínima por tipo de suelo.	33
Tabla 10. Valores K según tipo de suelo.	35
Tabla 11 Espesores de superficie bituminosa.	38
Tabla 12 Propiedades de materiales.	41
Tabla 13 Factores de carga dinámica.....	43
Tabla 14 Factores de proximidad de ruedas.....	44
Tabla 15 Espesores de coronación y subbase	46
Tabla 16 Factor de proximidad	55
Tabla 17 Resumen de Presupuesto.....	64
Tabla 18 Factores de Equivalencia de Materiales para diferentes material..	70
Tabla 19 APU Lean concrete	71
Tabla 21 APUS adoquín Portuario.....	72
Tabla 22 APUS Base Clase 1	73
Tabla 23 APUS Base cemento fc 25 kg.....	74

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Factores de Equivalencia de Materiales para diferentes material.	67
ANEXO 2 APU Lean concrete.....	68
ANEXO 3 APUS adoquín Portuario	72
ANEXO 4 APUS Base Clase 1.....	70
ANEXO 5 APUS Base cemento fc 25 kg.....	71
ANEXO 6 Entrevista a Ing Sergio Murillo	72
ANEXO 7 Entrevista a Ing José Andrés Quinancela	74

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realizó un análisis Técnico - Financiero del Uso de Bases Estabilizadas con Cemento en Patios de Contenedores usando ALIZE: Caso Patios Cía. CITIKOLD, en donde se hizo un estudio sobre las bases estabilizadas con cemento, mencionando sus beneficios y aplicaciones. Se realizó un diseño de pavimento para los patios de contenedores mediante el Manual de Pavimentos de Servicio Pesado de las Asociaciones de Puertos Británicos y el software ALIZE para determinar esfuerzos y deformaciones de las capas del pavimento. Para poder constatar las ventajas financieras se realizó una comparación económica con 3 opciones de pavimento. La primera opción es de adoquín con lean concrete y base estabilizada con cemento, la segunda opción es de adoquín con lean concrete y base de material granular importado y la tercera opción con adoquín con base estabilizada cemento. Para esta comparación económica se realizaron los APU y los presupuestos de cada opción, con el fin de determinar la opción más rentable.

Palabras clave: base estabilizada con cemento, patios de contenedores, pavimentos, alize, adoquín, patios portuarios.

ABSTRACT

In the present degree work, a Technical - Financial analysis was made of the Use of Stabilized Bases with Cement in Container Yards using ALIZE: Case Patios Cía. CITIKOLD, where it was made a study on the bases stabilized with cement, mentioning its benefits and applications. A Pavement design for container yards was made using the British Ports Associations Heavy Duty Pavement Manual and ALIZE software in order to determine strain and deformations of pavement layers. In order to confirm the financial advantages, an economic comparison was made with three pavement options. The first option is paving stone with lean concrete and stabilized cement base, the second option is paving stone with lean concrete and base made of imported granular material and the third option with paver stone with stabilized cement base. For this economic comparison, the APUs and the budgets of each option were made, in order to determine the most profitable option.

Key words: base stabilized with cement, container yards, pavements, alize, cobblestone, port yards.

1) INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

Desde hace mucho tiempo en la construcción ha existido la necesidad de mejorar las propiedades del suelo, algunas culturas antiguas utilizaron técnicas efectivas para estabilidad del suelo. La era de la estabilización de suelos de la época moderna, data de la década de 1960 y 1970 pero con técnicas de aplicaciones no tan efectivas y defectuosas. En la actualidad las técnicas han mejorado ya que existe una mejor investigación, equipos y materiales.

Las bases estabilizadas con cemento han sido desarrolladas ante la necesidad de diseñar pavimentos que sean durables, que tengan una mayor capacidad de soporte y que sea resistente ante agentes atmosféricos, tiene múltiples ventajas relacionadas con las propiedades mecánicas y su reacción antes las condiciones climáticas adversas.

Un análisis de este tipo, en nuestro caso, gira en torno a la exploración y estudio de alternativas en estructuras de pavimento para condiciones de tráfico severas en las cuales las cargas que soportan son muy altas (equipos elevadores tipo reach stackers y apilamientos de hasta 5 contenedores de altura), por lo que un mejor comportamiento utilizando materiales de fácil acceso, representa ventajas tangibles en la parte económica y en la parte de seguridad industrial para el usuario.

Un estudio más profundo de esta investigación podría ahondar en más datos que puedan ayudar a la reducción de costos en las estructuras de pavimentos para patios de contenedores en los próximos años; siendo Guayaquil un puerto en constante crecimiento; según la Asociación de Terminales Portuarios Privados del Ecuador (Diario El Universo, 2019), gremio que aglutina a las principales instalaciones privadas, en cuatro puertos se desplegaron en 2019 inversiones por \$ 71'228.832; ese monto se suma a inversiones realizadas por \$ 20'955.723 en el 2018.



Ilustración 1 Inversiones de las terminales portuarias.

Fuente: (Diario El Universo, 2019)

1.2 Principios de Diseño

Los principios para el diseño de pavimentos con base estabilizadas con cemento se lo realizara conforme el método que propone la PCA (PCA-Método de la Portland Cement Asociation), el cual se basa en teorías de pavimentos como Picket & Ray, Westergard y algunos otros fundamentos postulados por la misma PCA, con lo cual se realizó este método de diseño.

En el procedimiento de la PCA se ha basado de diferentes fuentes de información obtenida de desarrollo teóricos, investigaciones, ensayos de pavimentos a escala real. Se correlaciono información de diseño de las fuentes dando como resultado el procedimiento de diseño solo para pavimentos suelo cemento.

El procedimiento se basa en los siguientes elementos:

Propiedades Estructurales Básicas

Se tiene que clasificar el suelo y determinar el porcentaje de cemento estimado y para esto hay que cumplir con unas propiedades estructurales básicas, las cuales dependen del tipo del suelo, el curado y la edad, estas propiedades son detalladas a continuación:

PROPIEDAD	VALORES A 28 DÍAS	
Resistencia a la compresión, saturada.	400-900 psi	2.757 - 6.205 MPa
Módulo de ruptura.	80-180 psi	0.55 - 1.24 MPa
Módulo de elasticidad.	600,000-2'000.000 psi	4.136.85 – 13.789.51 MPa
Relación de Poisson.	0.12-0.14	
Radio de curvatura crítico, en viga de 6x6x30 pulgadas	4,000-7500"	

Tabla 1. Propiedades estructurales básicas de la base estabilizada con cemento.

Fuente: (PCA- Método de la Portland Cement Association)

Características Carga – Deflexión

La investigación carga-deflexión en pavimentos suelo-cemento mostró que fue posible describir la respuesta por medio de una simple ecuación, a pesar del tipo de suelo y contenido de cemento, tanto como el producto cumple los requisitos para suelo-cemento totalmente endurecido.

Esta investigación también demostró que la resistencia del pavimento es evaluada más exactamente por el grado de flexión antes que por las medidas de deflexión solamente. Por esta razón, el radio de curvatura en lugar de la deflexión fue empleado como factor principal en el desarrollo de las formulaciones de diseño.

Propiedades de Fatiga

Los estudios de fatiga revelaron que, para un diseño dado, el número de repeticiones de carga hasta la falla estuvo relacionado con el radio de curvatura a la flexión. Esta correlación probó ser similar al conocido comportamiento a la fatiga de otros materiales.

El efecto del tipo de suelo fue significativo en los resultados a la fatiga. Se requirió la división de los suelos en dos amplios tipos de textura, suelos de gradación granular y suelos de gradación fina, y el correspondiente empleo de cartas de diseño por separado para las respectivas mezclas de suelo - cemento. Como se muestra en la Tabla 2, los dos tipos pueden ser diferenciados por los grupos de suelos del sistema de clasificación de la AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials, como sigue:

1. Suelos granulares – Grupos A-1, A-3, A-2-4, y A-2-5
2. Suelos de gradación fina – Grupos A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A-6, y A-7.

General classification	Granular materials (35 percent or less passing No. 200)							Silt-clay materials (more than 35 percent passing No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Group classification	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Sieve analysis, percent passing: No. 10 No. 40 No. 200	50 max. 30 max. 15 max.	50 max. 25 max.	51 min. 10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing No. 40: Liquid limit Plasticity index	6 max.		NP	40 max. 10 max.	41 min. 10 max.	40 max. 11 min.	41 min. 11 min.	40 max. 10 max.	41 min. 10 max.	40 max. 11 min.	41 min. 11 min.
Textural type for soil-cement thickness design procedure	Granular soils					Fine-grained soils					

Tabla 2 Sistema de clasificación AASHTO para el proceso de diseño para suelo - cemento

Fuente: (American Concrete Institute - ACI, 1990)

Otros de los factores que se debe considerar en el diseño del espesor:

- Resistencia del suelo.
- Periodo del pavimento.
- Trafico.
- Espesor de la capa de base de suelo – cemento.
- Espesor de la capa bituminosa superficial.

En esta misma tesis, en el capítulo 3.7 Procedimiento de Diseño Suelo – Cemento de la PCA, revisaremos en detalle dicha metodología.

1.3 Definición de las Bases Estabilizadas con Cemento o BEC

En proyectos viales hay situaciones en las que se puede mejorar las condiciones de las bases y sub-bases, utilizando una estabilización química y de esta manera mejorar las propiedades del suelo y evitar condiciones de construcción inadecuada o no deseadas, para esto se tiene algunas opciones que se podría elegir para poder solucionar este tipo de problemas, la más usual es la de mejorar las propiedades de ingeniería de los suelos del sitio.

La modificación de las propiedades de ingeniería del suelo en el sitio mediante algún agente externo, es lo que se denomina a la estabilización del suelo

Existen dos tipos de estabilización del suelo: mecánica y química o en base a aditivos, la mecánica tiene que ver con la compactación del suelo, la química es cuando se le adiciona cal, cemento u otros agentes estabilizadores.



Ilustración 2 Compactación del Suelo.

Dentro de los aditivos para la estabilización química del suelo hay dos tipos los mecánicos, como el cemento que altera el suelo al hacer de ligante entre las partículas del material granular y de esa forma mejorar la capacidad de carga del suelo existente; y otros aditivos químicos como la cal que alteran químicamente al suelo mejorando en ambos casos su capacidad de soporte.



Ilustración 3 Aplicación de cal como método de estabilización del suelo.

La base estabilizada con cemento es una técnica cuyo fin es el de modificar las características de la base mediante la incorporación de cemento y agua, para que de esta manera mejoren las propiedades mecánicas.

Lo que se quiere lograr con la estabilización del suelo es que tenga una base sólida y estable, la estabilización con cemento permite una mayor resistencia del material ante algunos agentes atmosféricos, también genera un incremento en la rigidez y resistencia mecánica del material granular, lo que nos permitirá que estas bases sean más resistentes a la deformación debido al tráfico en el pavimento en comparación con una base granular sin ligante, además de que disminuye los esfuerzos a la tensión generados en la fibra inferior de la mezcla asfáltica, en caso de usarse una capa de rodadura de este material, disminuyendo la posibilidad de ocurrencia de daño por fatiga.

Mencionando algunas de las ventajas, una de ellas es la de mejorar la distribución de las cargas aplicadas al pavimento, dar mayor durabilidad a la estructura del pavimento, un mayor uso de materiales locales y, una mayor rigidez en la capa estabilizada. También tiene unas limitaciones tales como el agrietamiento por contracción que puede reflejarse en la capa de rodadura, otras pueden ser constructivas en cuanto al tiempo de fraguado del cementante para el mezclado y compactación de los tramos.

1.4 Problemática y Objeto de Estudio

El pavimento para cargas estacionarias pesadas es un pavimento donde la carga excede los niveles considerados en el diseño de carreteras debido, por ejemplo, a la manipulación de contenedores por parte de los transportistas y al uso de elevadores frontales o apiladores de alcance (reach-stackers).

Muchos elementos de los métodos de diseño para pavimentos de carreteras no son adecuados para diseñar pavimentos semirrígidos o flexibles de servicio pesado para funciones tales como puertos y terminales de contenedores.

Típicamente, los pavimentos portuarios consisten en una capa superficial, ya sean bloques de concreto o asfalto, sobre una capa rígida de un material granular ligado con cemento para reducir el riesgo de asentamientos y surcos con el tiempo.

En este trabajo se pretende usar metodologías tales como una base estabilizada con cemento y herramientas informáticas a disposición de los ingenieros (ejemplo ALIZE para el cálculo de deformaciones) que permitan obtener una estructura resistente y durable al tráfico pesado, así como su mejor rendimiento financiero.

1.5 Objetivos Generales

El principal objetivo de este trabajo es validar las bondades del uso de bases estabilizadas con cemento como una solución durable versus alternativas convencionales, usadas para el almacenamiento de contenedores y; evaluar si es financieramente beneficiosa para los dueños y usuarios de este tipo de instalaciones; así como explorar escenarios complementarios usando adoquines de alto tráfico.

1.6 Objetivos Específicos

- Estudiar la definición y particularidades de las bases estabilizadas con cemento.
- Analizar los aspectos técnicos y económicos que involucran el diseño de este tipo de estructuras.

1.7 Hipótesis

Demostrar las ventajas del uso de una base estabilizada con cemento en esta aplicación versus otros tipos de estructuras, tomando en cuenta sus características relevantes.

1.8 Alcance

Este trabajo tiene como alcance brindarle al ingeniero civil / empresario una guía de análisis con ejemplos reales para lograr un análisis y proyectar el comportamiento adecuado de una estructura de pavimentos sometida a cargas no convencionales.

La investigación aplicada para este trabajo, es de tipo descriptiva y explicativa. Los datos a considerar serán tomados de guías y manuales de diseño, así como validaciones de experiencias locales, y se procesarán de acuerdo a los resultados de investigaciones, entrevistas.

2) METODOLOGÍA

2.1 Tipo de Investigación

La presente investigación tiene un alcance descriptivo y analítico al validar las características y bondades del uso de bases estabilizadas con cemento en el almacenamiento de contenedores.

Se implementará un enfoque cuantitativo para medir las variables que lleven a una respuesta a la problemática de la investigación, usando información documentada y real, de diferentes fuentes como soporte.

2.2 Delimitación del estudio.

Un estudio de este tipo gira en torno a la exploración y estudio de alternativas en estructuras de pavimento para condiciones de tráfico severas en las cuales las cargas que soportan son muy altas (equipos elevadores tipo reach stackers, incluso grúas Tipo RTG - Rubber Tyred Gantry Cranes y, apilamientos de hasta 5 contenedores de altura); por lo que un mejor comportamiento utilizando materiales del sitio, o materiales de fácil acceso representara ventajas tangibles en la parte económica y, en la parte de seguridad industrial para el usuario.

Un estudio más profundo de esta investigación, que valore estructuras de pavimento usadas en patios de contenedores en Guayaquil y alrededores, podría brindar mayor información y más datos que permitan obtener estructuras óptimas y reducción de costos en las estructuras de pavimentos para patios de contenedores en los próximos años.

2.3 Diseño de investigación

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLES	DEFINICIONES CONCEPTUALES O DESCRIPTIVAS	DEFINICIONES OPERACIONALES
Estudiar la definición y particularidades de las bases estabilizadas con cemento.	Del tipo nominal: la funcionalidad del diseño de base estabilizada con cemento en función de cargas, deflexiones.	Forma en que beneficia la base estabilizada a una estructura de un pavimento portuario.	Reducción del espesor de la estructura del pavimento, medidas en centímetros.
Analizar los aspectos técnicos y económicos que involucran el diseño de la estructura de un pavimento portuario.	Del tipo nominal: las opciones de pavimento, en función de características de materiales, factores de carga dinámica, factores de proximidad, periodos de diseño y dinero.	Potencial reducción en los costos de un pavimento portuario mediante un diseño con BEC.	Ahorro en términos de dinero (USD) por el uso de una BEC Base Estabilizada con cemento.

2.4 Recolección de información

Este proyecto partirá de la información que se recopile mediante la investigación de diferentes fuentes bibliográficas, tales como las de los manuales y libros acordes al diseño de bases estabilizadas con cemento, pavimentos portuarios, información comercial de proveedores de materiales, equipos y, de los datos recabados del caso práctico que se analizará en el capítulo 4.

Para la obtención de algunos datos necesarios para la investigación se utilizará información secundaria disponible; y para su análisis: herramientas digitales tales como el software ALIZE, del cual se tratará en detalle más adelante en esta tesis.

2.5 Estudio y datos del mercado

El Sistema portuario nacional viene realizando inversiones, tanto en sector concesionado como privado, de más de 800 millones de dólares en los últimos 10 años, a fin de adecuar sus infraestructuras para lo que fue la ampliación del canal de Panamá en 2016, lo que permite el tránsito de naves más grandes tanto en capacidad como calado en nuestra región. Esto sumado al dragado del canal de acceso a los puertos de Guayaquil pone al sistema portuario de la ciudad con capacidad para absorber el crecimiento económico y de cargas de los próximos 20-25 años.

Los depósitos de contenedores son espacios cercanos a las zonas portuarios donde las líneas navieras realizan sus operaciones logísticas, y almacenan contenedores. Es el lugar donde los importadores devuelven los contenedores vacíos y es donde los exportadores los retiran para enviar la mercancía para el exterior; esto en ciudades como Guayaquil implica un movimiento constante y frenético de carga, donde interrupciones en la operación por mantenimiento de pavimentos ocasionan costos adicionales y demoras en la operación que ningún operador desea tener.

Para esta investigación se ha validado la información recolectada de entrevistas realizadas a:

- Ing. Sergio Murillo es Presidente de la Asociación de Terminales Portuarios Privados del Ecuador (ASOTEP) y Vicepresidente Cámara Marítima del Ecuador.
- Ing. José Andrés Quinancela

De las entrevistas realizadas se puede destacar que, en la ciudad de Guayaquil, en zonas donde los suelos tienen un CBR bajo, lo que se requiere es entre 1 o 2 metros de cambios de suelos o de material de mejoramiento, una capa de 30cm de sub base, una capa de 20cm de base y una carpeta de rodadura casi siempre flexible o semirrígida.

Si se ha evidenciado deficiencias en los estados de los pavimentos patios de contenedores en donde desperdiciando dinero y recursos en asfaltar estos pavimentos y que al cabo de poco tiempo se ha perdió la inversión que se han realizado, ya que la mayoría son patios alquilados y no realizan la inversión adecuada lo que hacen es lastrar y llenar material de mejoramiento que en épocas de invierno se termina perdiendo este material. También lo que se ve afectado por la deficiencia en el pavimento es la pérdida de tiempo en ingresar, cargar y salir el transporte, costos en mantenimientos en flotas de transportes.

Sin embargo, ya grandes proyectos con grandes inversiones como el grupo Torres & Torres, Cotecon, e incluso Citikold en algunos de sus patios han optado por las bases estabilizadas con cemento que sin lugar a duda han encontrado una buena opción para sus pavimentos, tomándolo con mucha importancia ya que repercute en su presupuesto final y la vida útil.

También se validó la información de los operadores portuarios en Guayaquil que tengan patio de contenedores fuera de las instalaciones portuarias, entre los cuales se mencionan a continuación:

Depósitos de Contenedores			
Nombre	Contacto	Dirección	Ciudad
ARETINA S.A.	Ing. Andrés Padilla	Av. Don Bosco s/n Intersección Andrés Álava (Junto a Colegio Jaime Roldos)	Guayaquil
DEPCONSA	Ec. Juan Sánchez	Km 14,5 Vía Daule Av. Las Iguanas & Calle 1	Guayaquil
FARBEM S.A.	Ing. Pomerio Sarmiento Nieto	Calle Barcelona 8 Manzana 5 Guasmo Norte	Guayaquil
OPERADORA DEL PACIFICO S.A. – OPACIF	Sr. José Fernando Briones Visintonio	Av. 25 de Julio S/N diagonal a la base naval sur (patio de contenedores color naranja)	Guayaquil
REPCONTVE R S.A.	Ing. William Vera Castro	Lotización Galarza Vía Perimetral Km 27,5 (Junto a Cridesa)	Guayaquil
TASESA CONTAINER TERMINAL	Ing. Juan Jurado Von Buchwald	Av. 25 de Julio, S/N Km 2.5 vía Puerto Marítimo junto a Bodegas Almagro, Segundo Piso	Guayaquil
TERMINAL DE CONTENEDORES TERCON CIA. LTDA.	Ing. Jorge Montalvo	Km. 23½ Vía Perimetral y Av. Marcel Laniado de Wind	Guayaquil
PORTRANS	Cesar Cabezas	Av. 25 de Julio – Km. 3,5 Vía Puerto Marítimo	Guayaquil

Tabla 3 Depósito de Contenedores fuera de zona portuaria en Guayaquil

Fuente: (CAMAEC - CÁMARA MARÍTIMA DEL ECUADOR , s.f.).

A continuación, mostramos un detalle de la ubicación de cada uno de estos patios, todos ellos ubicados en zonas industriales dentro de Guayaquil; dado el crecimiento del comercio portuario, se espera que este tipo de patios se incrementen en el futuro cercano.

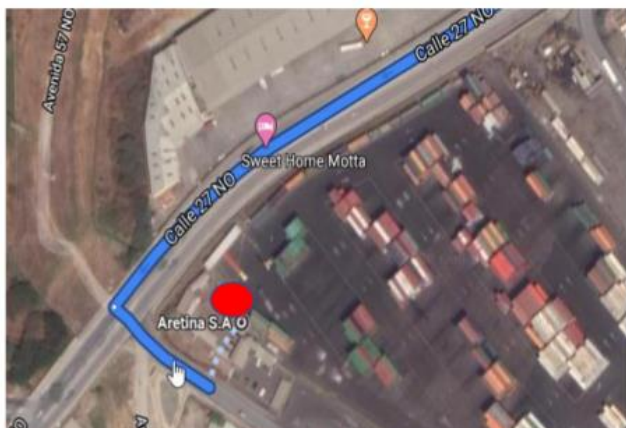


Ilustración 4 Patio ARETINA S.A.



Ilustración 5 Patio BLASTI S.A.

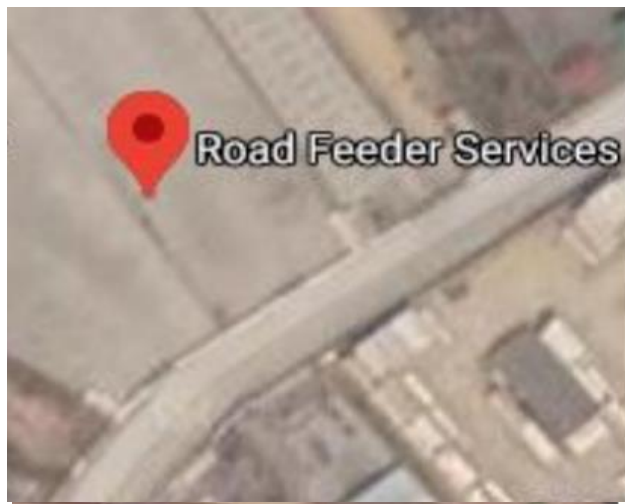


Ilustración 6 Patio ROAD FEEDER



Ilustración 7 Patio FARBEM S.A



Ilustración 8 REPTCONVER

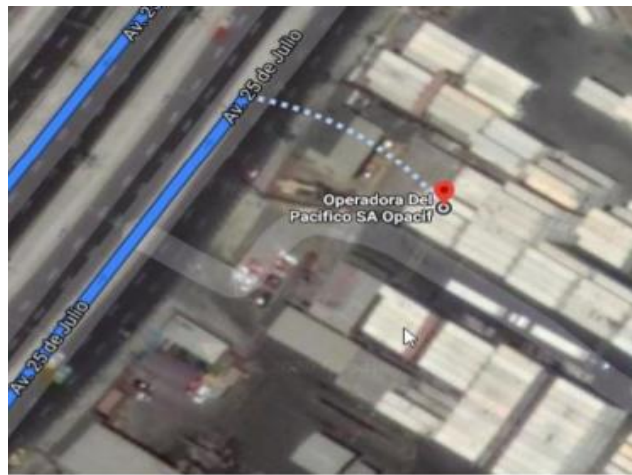


Ilustración 9 Patio OPACIF S.A.



Ilustración 10 Patio REPCONTVER

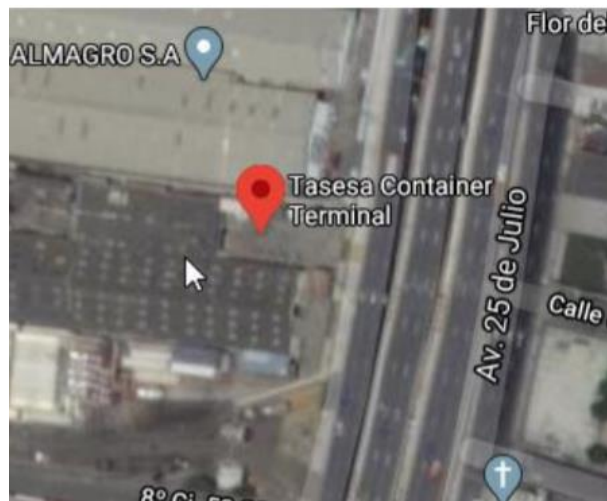


Ilustración 11 TASESA



Ilustración 12 TERCON

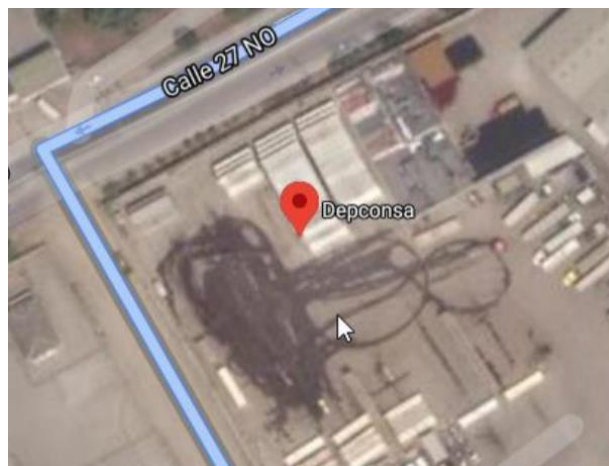


Ilustración 13 Patio DEPCON SA

3) MARCO TEORICO

3.1 Bases Estabilizadas con Cemento

(Sanjuán Barbudo & Chinchón Yepes, 2004), mencionan que según las normas europeas “los cementos son conglomerantes hidráulicos, esto es, materiales artificiales de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molidos y amasados con agua forman una pasta que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como al agua”.

En el ámbito de la estructura de pavimento, estabilizar el suelo es una aportación muy importante permitiendo la utilización de casi todos los suelos, disminuyendo así el impacto ambiental por la explotación de otras fuentes de materiales.

En la guía de (Herra-Gómez, et al, 2019) se menciona que una base estabilizada “es una base granular tratada al adicionarle un agente estabilizador (cal, cemento, o asfalto), para mejorar sus características mecánicas, capacidad soportante, resistencia ante agentes atmosféricos, estabilidad volumétrica.” Además, también se permite el uso de pavimento reciclado o el uso de materiales que no cumplen especificaciones técnicas de la base.

Ante la necesidad de mejorar la calidad del suelo, el aumento de la demanda de los agregados ha vuelto muy costoso el reemplazar capas de suelo mal clasificados por unas capas de suelo de mejor clasificación es por esto que se ha visto la necesidad de mejorar el suelo existente convirtiendo a la estabilización una opción mucho más rentable, además de que debido a la incorporación del cemento el espesor de la base estabilizada con cemento es menor a la de la base granular, ya que la rigidez proporcionada por la base estabilizada con cemento permite distribuir mejor las cargas de tráfico. Haciendo que disminuya los esfuerzos en la sub-base o sub-rasante.

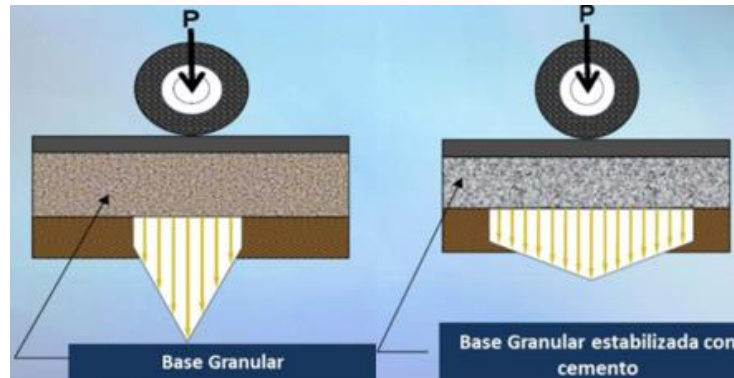


Ilustración 14 Capas de base granular y base estabilizada con cemento.

El uso del cemento para mejorar y estabilizar el suelo se lo ha hecho desde hace muchos años atrás. Una base estabilizada con cemento se emplea para que aumente la resistencia a compresión del material y a la vez incremente su resistencia debido a cargas de tránsito.

Los pavimentos con base estabilizada de cemento son llamados también pavimentos semirrígidos debido a su gran resistencia similar a la de una losa de concreto, sin embargo, tiene que ser analizado cuidadosamente en su proceso de curado ya que también puede agrietarse.

La estabilización de suelos con cemento hidráulico abarca casi todo tipo de suelos, exceptuando los suelos excesivamente plásticos, y que contenga un alto contenido de sales, permitiendo de esta manera, al poder estabilizar la mayoría de tipos de suelos, disminuir el impacto ambiental ocasionado por la explotación de material.

La modificación o estabilización del suelo es lo que va a determinar la cantidad a utilizar del cemento, se han obtenido mejores resultados cuando se usa una buena clasificación y en donde se posean suficientes finos.

Unas de las normas que ayuda a la identificación del tipo de suelo son las normas AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes), este sistema clasifica suelos para construcción de carreteras y autopistas.

Este método lo clasifica según su composición granulométrica, el índice de plasticidad y su límite líquido, y está formado en 7 grupos en el que consta una simbología o nomenclatura y un número asignado a cada grupo.

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)				Materiales limoso arcilloso (Más de 35% pasa por el tamiz N°200)						
	A-1		A-3	A-2-4			A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7			A-7-5	A-7-6
Porcentaje que pasa											
N°10 (2mm)	50 máx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N°40 (0,425mm)	30 máx	50 máx	51 min.	-	-	-	-	-	-	-	-
N°200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx				36 min			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N°40											
Límite líquido	-	-	40 máx	41 máx	40 máx	41 máx		40 máx	41 máx	40 máx	41 min (2)
Índice de plasticidad	6 máx	NP (1)	10 máx	10 máx	11 máx	11 máx		10 máx	10 máx	11 máx	11 min
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				

Figura 15 Sistema de Clasificación de suelo AASHTO

Fuente: (Holcim Ecuador, 2014)

El cemento hidráulico es un producto cementante de uso para la construcción de caminos, en el Ecuador Holcim basándose en las necesidades del proceso constructivo, cuenta con el cemento hidráulico llamado Base Vial Tipo MH que cuenta con una formulación, que asegura el proceso de hidratación continua y de largo plazo generado por el bajo calor de hidratación reduciendo el agrietamiento en comparación con el uso de cemento convencional, según la NTE 2380 del (INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011), este tipo de cemento MH es para un moderado calor de hidratación, lo que permite un fraguado más lento y por lo tanto da un mayor tiempo de trabajabilidad de la mezcla suelo - cemento.



Ilustración 16 Cemento hidráulico, Base vial – Holcim

Fuente: (Holcim Ecuador, 2014)

Para poder usar la mezcla suelo- cemento, (Holcim Ecuador, 2014) se tiene los siguientes requisitos granulométricos de suelos según la sección 4.1 del (American Concrete Institute - ACI, 1990).

- Tamaño máximo: 50mm
- Pasante el tamiz no 4: del 50 al 100 %
- Pasante el tamiz no 200: del 5 al 35 %
- En cuanto su límite de plasticidad va dependiendo de la cantidad de contaminante en el suelo a mejorar, así como se muestra en la tabla.

**VALORES MÁXIMOS DE CONTAMINANTE EN LOS SUELOS
PARA PODER SER MEJORADOS O ESTABILIZADOS CON**

Tipo de contaminante.	Valor máximo permisible
Finos pocos activos (LL <30, IP <7)	30
Arcilla activa (LL <50, IP <12)	35
Arcilla muy activa (LL <50, IP <129)	20
Sulfatos	1
Materia orgánica	5
LL: Límite líquido.	

IP: índice plástico.

Tabla 4 Valores Máximo permisible del contaminante en suelo.

Fuente: (PCA- Método de la Portland Cement Association)

Para este tipo de mezclas no se requiere de algún aditivo químico adicional, a menos que vaya a ser trasladada la mezcla o debido a condiciones climáticas desfavorable.

En cuanto al agua deber estar libre de álcalis, materia orgánica o ácidos, con un contenido de sulfatos no mayor a 1 g/lit, y con un pH de 5.5 y 8.

Según el reporte del comité 230 del ACI (American Concrete Institute - ACI, 1990), se indican recomendaciones en cuanto al contenido de cemento por

peso según el tipo del suelo y, contenido típico de humedad, tal como se lo ha detallado en la siguiente tabla.

AASHTO Clasificación de suelo.	ASTM Clasificación de suelo.	Rangos típicos del peso de cemento requerido, por %	Contenido típico de cemento para test humedad-densidad (ASTM D558) % por peso.	Contenido típico de cemento para test durabilidad (ASTM D559 y D506)% por peso.
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	3-5	5	3-5-7
A-1-b	GM, GP, SM, SP	5-8	6	4-6-8
A-2	GM, GC, SM, SC	5-9	7	5-7-9
A-3	SP	7-11	9	7-9-11
A-4	CL, ML	7-12	10	8-10-12
A-5	ML, MH, CH	8-13	10	8-10-12
A-6	CL, CH	9-15	12	10-12-14
A-7	MH, CH	10-16	13	11-13-15

Tabla 5 Requisitos del cemento según el tipo de suelo.

Fuente: (Holcim Ecuador, 2014)

Los suelos estabilizados con cemento contienen propiedades como:

- Resistencia a compresión simple.
- Resistencia a la tracción por flexión.
- Densidad.
- Permeabilidad.
- Módulo de elasticidad.

En la estabilización del suelo lo que se quiere lograr es una base sólida y estable, es por esto que la densidad es un parámetro que se debe tomar en cuenta ya que este mide el peso por volumen del material, y mientras más densidad tenga menos vacíos tiene el material evitando que tenga humedad ya que esto haría un suelo menos estable.

Los requisitos de las propiedades físicas del cemento hidráulico están especificados en la tabla de la NTE 2380, en su sección 7.1.2 del (INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Finura	INEN 196	A	A	A	A	A	A
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Tiempo de fraguado, método de Vicat ^B	INEN 158						
Inicial, no menos de, minutos		45	45	45	45	45	45
Inicial, no más de, minutos		420	420	420	420	420	420
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	INEN 195	C	C	C	C	C	C
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo ^D	INEN 488						
1 día		--	12	--	--	--	--
3 días		13	24	11	11	5	--
7 días		20	--	18	18	11	11
28 días		28	--	--	25	--	21
Calor de hidratación	INEN 199						
7 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		--	--	--	--	290 (70)	250 (60)
28 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		--	--	--	--	--	290 (70)
Expansión en barra de mortero	INEN 2 529						
14 días, % máximo		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos) ^E	INEN 2 503						
6 meses, % máximo		--	--	0,10	0,05	--	--
1 año, % máximo		--	--	--	0,10	--	--

^A El porcentaje retenido en el tamiz de 45 µm (No. 325) por vía húmeda y el área de la superficie específica determinada en el equipo de permeabilidad al aire en m²/kg, ambos deben ser informados en todos los certificados de resultados requeridos al fabricante.

^B El tiempo de fraguado se refiere al tiempo de fraguado inicial en la NTE INEN 158.

^C Se debe informar el contenido de aire en todos los certificados de resultados de ensayos requeridos al fabricante. El valor obtenido en el mortero no garantiza necesariamente que el contenido de aire en el hormigón sea el mismo.

^D Los cementos pueden ser despachados antes que estén disponibles los datos de ensayo de mayor edad. En tales casos, el valor del ensayo puede dejarse en blanco. Alternativamente, el fabricante puede proveer valores estimativos basados en datos históricos de producción. El informe debe indicar si se proporcionan tales estimaciones.

^E En los ensayos de cemento HS, no se requieren los ensayos a un año cuando el cemento cumple con el límite a 6 meses. Un cemento HS que no cumple con el límite a 6 meses, no debe ser rechazado a menos que tampoco cumpla el límite a un año.

Tabla 6 Requisitos físicos normalizados del cemento hidráulico.

Fuente: (INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011)

3.2 Beneficios DEL USO DE Cemento en estabilizaciones de suelos

El diccionario de la (RAE - Real Academia Española, 2020) RAE, nos ofrece inicialmente una definición general de cemento, como: *“Mezcla formada de arcilla y materiales calcáreos, sometida a cocción y muy finamente molida, que mezclada a su vez con agua se solidifica y endurece”*.

A su vez, en la Norma Técnica Ecuatoriana 151 del (INEN, 2010) , en su sección 3.1.10, se nos da la definición de cemento hidráulico, la cual es: *“Cemento que fragua y endurece por reacción química con agua y es capaz de hacerlo aún bajo el agua”*.

El cemento es un aditivo que se podría usar para que mejore la calidad del suelo o para poder estabilizarlo convirtiendo al suelo más sólido.

La creciente demanda de rehabilitación de caminos, vías ha hecho que un producto cementante fuera creado para poder realizar una mejor estabilización de suelos.

Existen múltiples ventajas de la estabilización de suelos con cemento tales como:

- Mayor durabilidad del pavimento.
- Óptima distribución de cargas en el pavimento
- Resistente ante los agentes atmosféricos.
- Menor impacto ambiental mediante el uso de materiales locales.
- Reducción de costos de acarreo.
- Disminución de daño de vías al proyecto que se destruyen en el transporte del material.

3.3 Aplicaciones

Con el cemento tipo MH, se puede tener algunas aplicaciones ya que aporta a obtener mezclas homogéneas, logrando más resistencia y debido a que se puede reutilizar material se evita el acarreo de material extraído en otras fuentes.

En algunos sectores de la construcción se utiliza la base estabilizada con cemento tales como:

- Base para pavimentos de calles, carreteras.
- Estabilización de terraplenes, protección de taludes de canales, reservorios etc.
- Caminos vecinales.
- Pistas de aterrizaje.
- Estacionamientos.
- Recubrimientos donde se requiere una permeabilidad baja.
- En pavimentos donde los agregados no cumplen especificaciones para la base granular.

En el Ecuador existen obras en la que ya se ha implementado este sistema de bases estabilizadas con cemento como:

- Ampliación de carril en Duran av. Nicolás Lapentti en el año 2005



Ilustración 17 Ampliación Duran. Av. Nicolás Lapentti

- Construcción paso elevado Aurora – Perimetral en el año 2005



Ilustración 18 Paso elevado Aurora

- Paso lateral Milagro 2014



Ilustración 19 Paso lateras milagro.

- Planta de cemento Holcim en 2014



Ilustración 20 Planta Holcim

- Ampliación Santa Leonor



Ilustración 21 Pavimento en ciudadela Santa Leonor - Guayaquil

3.4 Tipos de cemento usados

De acuerdo a la NTE 152 del (INEN, 2012), indica que existen 10 tipos de cementos Portland los cuales se mencionan a continuación:

- Tipo I. Para ser utilizado cuando no se requiere propiedades especiales específicas.
- Tipo IA. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del tipo i, donde se desea incorporación del aire.
- Tipo II. Para uso general, en especial cuando se desea una moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo IIA. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del Tipo II.

- Tipo II (MH). Para uso general, en especial cuando se desea un moderado calor de hidratación y una moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo III. Para ser utilizado cuando se desea alta resistencia inicial o temprana.
- Tipo IIIA. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del tipo III, donde se desea incorporación del aire.
- Tipo IV. Para ser utilizado cuando se desea bajo calor de hidratación.
- Tipo V. Para ser utilizado cuando se desea alta resistencia a la acción de los sulfatos.

En la NTE 2380 del (INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011); que es la norma que actualmente usan las compañías cementeras ecuatorianas, ya que cementos OPC (Ordinary Portland Cement) como los de la NTE-INEN 152 ya no se fabrican sino bajo pedido, nos indica la clasificación de los tipos de cementos hidráulicos por su desempeño y, son los siguientes:

- Tipo GU. Para construcción en general.
- Tipo HE. Alta Resistencia inicial.
- Tipo MS. Moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo HS. Alta resistencia a los sulfatos.
- Tipo MH. Moderado calor de hidratación.
- Tipo LH. Bajo Calor de Hidratación.

3.5 Proceso Constructivo

Para poder tener una obra con éxito, que tenga una mayor durabilidad se debe realizar un correcto proceso constructivo, en los cuales se aplica las normas y códigos de construcción de cada país. (Holcim Ecuador, 2014) tiene un manual en el que consta el proceso para el diseño y construcción de las bases estabilizadas con cemento, en la que nos indica que para poder tener la mayor eficiencia hay que plantear una estrategia que comprende:

- La disposición de personal, material y equipos.
- Evaluar las condiciones climáticas.
- Realiza una correcta limpieza de la zona.
- Contar con un plan de control de calidad.
- Hacer tramos de prueba para poder detectar problemas potenciales.

Para que una obra se lleve a cabo hay que realizar procedimientos correctos, los cuales se detalla a continuación:

- Hay que hacer una correcta clasificación del suelo que se va a mejorar o estabilizar.
- Basándonos en las recomendaciones hay que estimar el contenido de cemento considerando el tipo de suelo.
- Para poder obtener el peso volumétrico seco máximo y humedad óptima se realizan pruebas.
- Hacer la respectiva caracterización del suelo que ha sido mejorado o estabilizado.
- Realizar ensayos a compresión simple o de durabilidad.
- Después de obtenido los resultados hay que seleccionar el contenido óptimo de cemento.
- Se especifica la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo del material.
- Se especifica el peso seco máximo y humedad optima de la mezcla suelo- cemento.
- Para el mezclado de cemento se debe formar dos camellones laterales al suelo a mezclar para que se pueda descargar en el centro del esparcidor. El cemento debe mezclarse lo más seco posible. Se debe evitar incrustar la cuchilla motoniveladora en el material.
- Hay que medir la cantidad precisa de agua que se utilizara para la mezcla, para que se pueda lograr una densidad máxima, y debe agregarse por partes a la mezcla.
- Según el tipo de proyecto se considerará el uso de equipo para la dosificación, mezclado, y tendido de la mezcla, equipos como la planta de mezclado central, equipos automatizados.

- Una vez terminado lo mencionado se debe conformar cada capa según el nivel de proyecto e iniciar la compactación esta se realizará en dos etapas para poder tener una mejor trabajabilidad de la mezcla.
- La compactación se la realizara inicialmente con rodillos pata de cabra, es recomendable tener una humedad ligeramente arriba de la óptima. Realizar la nivelación correspondiente de las capas con la motoniveladora.



Ilustración 22 Rodillo pata de cabra.

- Para la compactación final se utilizará rodillos lisos vibratorios, se deberá verificar el contenido de humedad óptima.



Figura 23 Rodillo liso vibratorio

- Se utilizará apisonadores mecánicos o placas vibratorias para el área que no pudo ser cubierta para los rodillos hasta que se logre la densidad requerida.



Figura 24 Apisonadores

Una vez concluida la compactación se procede al curado de las superficies. Se procede al riego del asfalto diluido, de curado rápido y se colocara una cantidad entre 0.50 a 0.80 lts por metro cuadrado. Al distribuirla debe hallarse húmeda la superficie.

- Se deberá realizar juntas de control dependiendo del tipo de camino a construir para evitar fisuras en las capas superiores.
- En caso de alguna paralización de la obra o al finalizar la jornada de trabajo se debe formar una junta de construcción vertical, perpendicular al eje del camino y en todo el ancho. Para el caso de no alcanzar el ancho total del tramo se debe formar una junta de construcción longitudinal con cara vertical de unos 5 a 10cm de espesor. Cuando se vaya a continuar con la construcción del ancho faltante y las juntas de construcción hay que humedecer el material antes de poner el material restante.
- No se debe permitir el paso de vehículo al menos en 7 días, para que pueda protegerse la superficie del desgaste y abrasión

3.6 Regulaciones del Ministerio de Transporte y Obras PÚBLICAS

En el Ecuador las Bases Estabilizadas con Cementos deberán regirse a las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes establecidas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP - Ministerio de Transporte y Obras Publicas, 2013), en la sección 404.2 "Base de Agregados Estabilizada con Cemento Portland" del volumen III.

En las mencionadas especificaciones, puntualmente en la sección 404-2.01, nos da la descripción del MTOP para este trabajo:

“Este trabajo consistirá en la construcción de capas de base compuestas de agregados triturados o cribados, o de una combinación de ambos, cemento Portland y agua, mezclados en una planta central o sobre el camino. Se llevará a cabo para mejorar las características mecánicas de los agregados en caso de que no cumplan los requisitos especificados en el numeral 404-1.02, para la base de agregados. La capa de base se colocará sobre una sub-base terminada y aprobada que se halle dentro de las alineaciones, pendientes y sección transversal señaladas en los planos contractuales.”

Y en la sección 404-2.02. Materiales, nos indica que:

“Los materiales que se emplearán en la construcción de las capas de base de agregados estabilizada con cemento Portland, serán agregados triturados o cribados o una mezcla de ambos. En todo caso los agregados deberán hallarse uniformemente graduados dentro de los límites granulométricos indicados en la Tabla 404-2.1. para el agregado grueso y el agregado fino, cuyo diseño y fórmula de trabajo será proporcionada por el Contratista y aprobada por el Fiscalizador.

Los materiales bien graduados contendrán entre un 55% y un 65% de agregado grueso retenido en el tamiz N° 4.

El aglutinante para la mezcla estará constituido por cemento Portland tipo I o tipo II, que cumpla con los requisitos de la Sección 802.

El agua para la hidratación de la mezcla deberá cumplir las exigencias de la

Sección 804.

Los yacimientos que serán explotados para la obtención de los agregados de base, estarán señalados en los documentos contractuales.

TAMIZ		Porcentaje en peso que pasa a través los tamices de malla cuadra.	
		Agregado grueso	Agregado fino
2"	50 mm	100	
1 1/2"	37.5 mm	95 - 100	-
3/4 "	19 mm	40 - 100	-
N.- 4	4.75 mm	0 - 5	80 - 100
N.- 10	2 mm	-	50 - 85
N.- 40	0.425 mm	-	15 - 45
N.- 200	0.075 mm	-	0 - 10

Tabla 7 Granulometría de la base a ser modificada. (Tabla 404.2.1)

Fuente: (MTOPE - Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013)

Debemos mencionar que se considera a un material bien graduado, cuando las partículas más pequeñas se acumulan en los vacíos que quedan entre las partículas más grandes logrando que el material sea mucho más denso ofreciendo mayor estabilidad. Los materiales bien graduados contendrán entre un 55% y un 65% de agregado grueso retenido en el tamiz N.- 4.

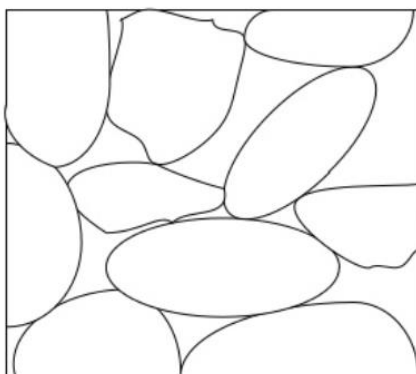


Ilustración 25 Material pobremente graduado

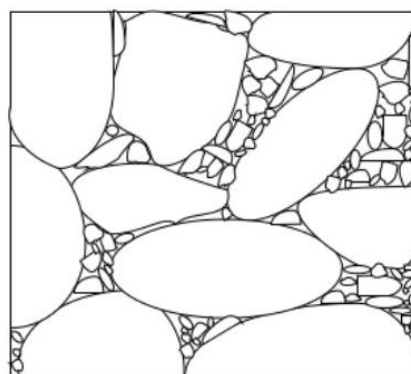


Ilustración 26 Material bien graduado.

Un punto importante que menciona el MTOPE en el apartado 404-2.04. Ensayos y Tolerancias, es que al efectuar los ensayos de compresión simple para comprobar la resistencia no debe ser inferior a 25 Kg/cm².

3.7 Procedimiento de Diseño Suelo - Cemento de la PCA

Es importante realizar los procedimientos correctos en la ejecución de una obra, de manera que se logre la mayor durabilidad y poder asegurar la inversión. A continuación, se detalla el procedimiento para el diseño de suelo – cemento:

- Se debe realizar la caracterización y clasificación del suelo a estabilizar y poder determinar su granulometría.
- Hay q estimar el contenido de cemento inicial de acuerdo a las recomendaciones dependiendo el tipo de suelo y una vez ya estimado el contenido, en función del peso volumétrico seco máximo del suelo sin el producto. Las recomendaciones son que para suelos granulares con finos el contenido óptimo de cemento sea del 7%; para arcillas activas o muy activas requieren valores mayores del 10% de cemento.
- Realizar pruebas para determinar la densidad máxima y humedad optima de la mezcla.
- Hay que verificar el cumplimiento de los parámetros, caracterizando el suelo, para que pueda ser usado en las capas de pavimentos.
- Realizar ensayos de resistencia a compresión simple de los especímenes y en caso necesario de pruebas de durabilidad o pruebas de acuerdo a lo que el proyecto requiera.
- El método de la (PCA- Método de la Portland Cement Asociation) recomienda para la resistencia mínima en pavimento con base estabilizada con cemento y la resistencia mínima por tipo de suelo.
- Basándose en los resultados, hay que seleccionar el contenido óptimo de cemento en porcentaje en peso de adición al peso total del suelo a utilizar, calculando con el peso volumétrico seco máximo del material sin adiciones.
- Se tiene que realizar la verificación del cumplimiento del porcentaje de compactación para las capas del pavimento, y se debe especificar la humedad optima de la mezcla a verificar y el peso volumétrico seco máximo.

Hay que tomar en cuenta otros factores que influyen en la mezcla suelo - cemento como:

Resistencia a compresión simple.

La resistencia a compresión simple de la mezcla suelo - cemento ya que es un indicador del Grado de reacción del suelo con cemento y el agua. La resistencia mínima en pavimentos por tipo de estructura y por tipo de suelo al usar el cemento en la mejora y estabilización de suelos recomendadas por (American Concrete Institute - ACI, 1990), se detalla a continuación:

Resistencias mínimas a compresión simple recomendadas para suelos estabilizados con Cemento por Tipo de Estructura.		
Capa de suelo estabilizada.	<i>f'c</i> mínima a 7 días en Mpa	
	Pavimento Rígido	Pavimento
Base	3,5	5,2
Sub base	1,4	1,9

Resistencia mínimas por tipo de suelo estabilizado con Cemento				
Clasificación SUCS	Descripción genérica del suelo	<i>F'c</i> mínima a 7 días (Mpa).	<i>F'c</i> mínima a 28 días	Rango típico de uso de Cemento
GW,GC, GP,GM,SW,SC,SP,SM.	Suelos arenosos y gravas. <small>Tabla 9. Resistencia mínima a compresión. Fuente: (PCA- Método de la Portland Cement Asociation)</small>	2,1	2,7	4 a 11
CL, ML.	Suelos limosos	1,8	2,1	7 a 12

Tabla 9. Resistencia mínima por tipo de suelo.

Fuente: (PCA- Método de la Portland Cement Asociation)

Resistencia a Flexión

Se obtiene Resistencia a flexión con valores entre 1/3 y 1/5 de la resistencia a compresión simple.

Durabilidad.

Esta mezcla de suelo – cemento reporta perdidas después de 12 ciclos de humedecimiento y secado inferior al 20% con proporciones de 8 % para suelos plásticos y 4 % para granular garantizando la durabilidad y vida útil de caminos.

Permeabilidad

Es posible obtener coeficientes de permeabilidad entre 10^{-1} y 10^{-6} cm/seg al combinar el suelo areno – limoso en proporciones de 5 a 7%.

Módulo de elasticidad estático

Se puede obtener módulos de elasticidad elásticos de 4000 a 7000 MPa al usar suelos granulares.

Diseño de Espesores.

Existen factores que influyen en el diseño de espesores según la (PCA- Método de la Portland Cement Asociación.), que se mencionan a continuación:

- Resistencia de diseño.
- Periodo de diseño.
- Trafico, incluyendo volumen y distribución de pesos por eje.
- Espesor de la capa de base suelo – cemento.
- Espesor de la capa bituminosa.

Resistencia del Suelo

Para hallar el soporte del suelo es medido en términos de módulo de Westergaard de reacción del suelo k : que es determinado mediante ensayos de palca sobre el terreno.

El valor del módulo de reacción K , es el soporte del suelo, en caso de que no sea posible determinar el valor se puede hacer uso de la siguiente tabla a modo de guía que nos brinda el método de la (PCA- Método de la Portland Cement Asociación.). Los suelos blandos con resistencia menor a los de la

tabla no podrán soportar el equipo que se necesita para la compactación del suelo – cemento, los cuales tendrán que ser mejorados.

Tipo de Suelo	Resistencia del suelo	Rango de CBR* (%)	Rango del Valor R''	Rango del módulo K
Suelos de grano fino en los cuales predominan los tamaños de partículas de limo y arcilla	Baja	3 a 6	8 a 27	100 - 150
Arenas pobremente graduadas y suelos que son predominante arenosos con cantidades moderadas de limo y arcilla.	Media	6 a 10	27 a 45	150 - 200
Suelos gravosos, arenas bien graduadas y mezclas de arenas y gravas, relativamente libres de finos plásticos.	Alta	más de 10	50 o mas	200 o más.

Tabla 10. Valores K según tipo de suelo.

Fuente: (PCA- Método de la Portland Cement Association.)

Periodo de Diseño

Convencionalmente el periodo de diseño seleccionado es de 20 años, pero esto no quiere decir que esta es la vida de servicio de los pavimentos.

Tráfico.

Para el análisis de tráfico según la (PCA- Método de la Portland Cement Association), hay que tomar en cuenta lo siguiente:

- Determinar el TDP en ambas direcciones y porcentaje de camiones,
- Proyección de tráfico al futuro periodo de diseño.
- Determinación de la distribución probable eje – carga.
- Calculo del factor de carga.

Espesor Suelo – Cemento.

Para determinar el espesor de la capa de la base suelo – cemento se lo determinara con la Figura 27 para suelo – cemento granular y la Figura 28 para suelo – cemento de graduación fina.

El espesor se lee con una aproximación de un décimo 0.1 de pulgada empleando el valor de diseño del coeficiente de reacción K y el factor de fatiga.

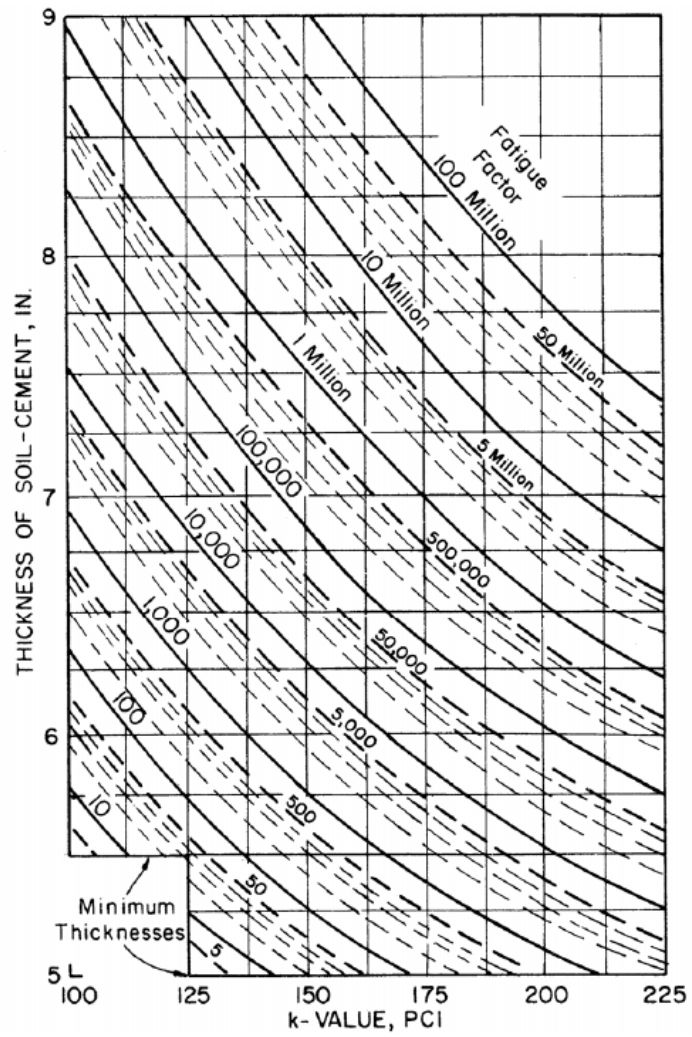


Ilustración 27 Carta de diseño de espesores para suelo - cemento granular.

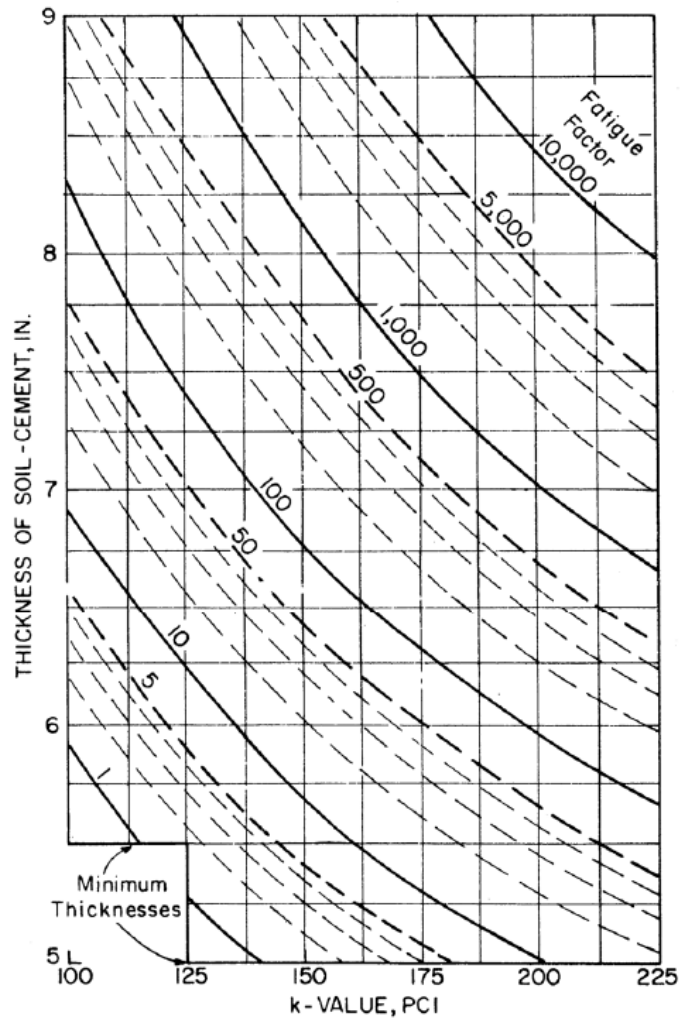


Ilustración 28 Carta de diseño de espesor suelo cemento con gradación fina

Espesor de la capa de superficie bituminosa

Para determinar el espesor de la capa de superficie dependerá de algunos factores como: volumen y composición de tráfico, tipo de superficie, condiciones climáticas, disponibilidad de materiales.

La (PCA- Método de la Portland Cement Association), en su manual detalla en una tabla el espesor de superficie bituminosa recomendada, basándose en experiencias locales.

Espesor de suelo - cemento (pulg)	Espesor de superficie bituminosa recomendada (pulg)	Espesor mínimo de superficie bituminosa (pulg)	
		área sin congelamiento	Área con congelamiento

5 - 6	3/4 - 1 1/2	SBST *	DBST *
7	1 1/2 - 2	DBST	1 **
8	1 1/2 - 2 1/2	1	1 1/2
9	2 - 3	2	2

DBST* Tratamiento superficial bituminoso doble.
SBST* Tratamiento superficial bituminoso Simple.

Tabla 11 Espesores de superficie bituminosa.

3.1 Procedimientos de Diseño de Pavimentos para Carga Pesada basado en el British Ports Associations Heavy Duty Pavements Manual

3.1.1 Generalidades

El diseño de un pavimento de servicio pesado (Heavy Duty Pavement), se da cuando la carga del pavimento excede los niveles de diseños que se usan para carreteras. Principalmente el entorno en el que se producen estas condiciones se da en puertos, áreas industriales y aeropuertos debido al uso de vehículos pesados para manipulación de contenedores por parte de Straddle Carriers, Front Lift Trucks o Reach Stackers, aviones y más.

El énfasis principal en esta sección estará en pavimentos de servicio pesado para puertos. En esta parte del trabajo se analizará el método de diseño más utilizado a nivel mundial, el British Ports Associations Heavy Duty Pavements Manual o Manual de Pavimentos de Servicio Pesado de las Asociaciones de Puertos Británicos, que es un procedimiento basado en gráficos y tablas.

Típicamente, los pavimentos portuarios consisten en una capa superficial, ya sea de bloques/adoquines de concreto o asfalto, sobre una capa rígida de un material estabilizado con cemento para reducir el riesgo de asentamientos y surcos con el tiempo.

Los métodos de diseño que utilizan las tensiones y deformaciones calculadas dentro de los pavimentos, junto con los estudios del efecto de estas tensiones y deformaciones en los materiales del pavimento se denominan métodos mecanicistas. Hasta ahora no hay métodos de diseño disponibles que sean 100% mecanicistas. Los métodos de diseño que se derivan únicamente de estudios empíricos del rendimiento del pavimento se denominan métodos empíricos. Ninguno de los métodos es óptimo por sí solo, pero la combinación de ambos, el método Mecánico-Empírico, proporciona una base más confiable para el diseño.

En la mayoría de las instalaciones de manejo de contenedores, los pavimentos se ven afectados por dos regímenes de carga: el primero es que los contenedores se almacenan en bloques y, el segundo es el equipo de manipulación que opera junto a estos bloques. El área de almacenamiento debe estar diseñada para soportar ambos tipos de carga porque algunos sistemas de manipulación requieren que el equipo ingrese a los bloques donde están los contenedores y, esto puede aumentar en gran medida el costo y desempeño del pavimento.

El método de la British Ports Associations (Kristjansdottir, 2017) está basado en gráficos y, considera la forma en que se trafica sobre el pavimento al evaluar la Carga de una Rueda Equivalente única (SEWL - Single Equivalent Wheel Load). El principio se basa en separar el diseño en tres partes esenciales, es decir: 1) la selección de la superficie, 2) la proporción de la base y, 3) la provisión de una base adecuada, simplifica considerablemente el proceso de diseño y, por lo tanto, solo necesita un gráfico de diseño, que se utiliza para proporcionar la base del pavimento para un servicio de tráfico pesado. Como el gráfico de diseño solo está hecha para un tipo específico de material de base, existen unos factores de equivalencia de material (MEF) que se pueden usar para cambiar un material por otro durante el proceso de diseño; este método es simple pues se basa en un solo gráfico de diseño en comparación con otros métodos que tienen muchas tablas de diseño diferentes para diferentes materiales. Esto significa que el diseñador puede producir muchas soluciones de diseño

alternativas utilizando diferentes materiales cuando se ha creado un diseño utilizando un único gráfico de diseño.

El principio utilizado en este manual es que los pavimentos están diseñados para permanecer en servicio durante toda la vida útil del pavimento. La falla de servicio, en términos de rendimiento estructural, en un pavimento de servicio pesado generalmente ocurre por surcos, tensión de compresión vertical excesiva en el subsuelo o grietas, tensión horizontal excesiva en la base. Estos modos de falla se pueden ver en la Figura 29.

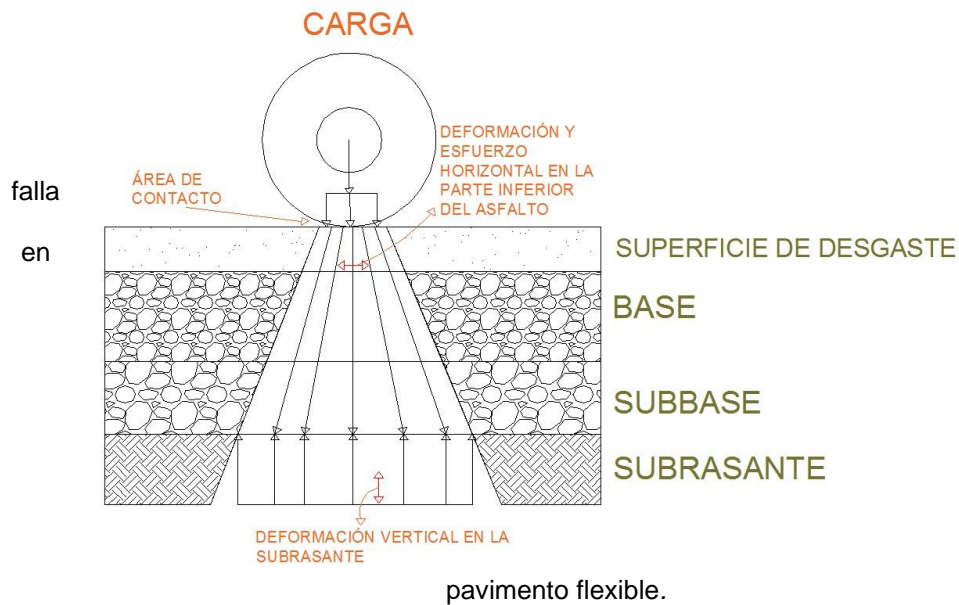


Figura 29
Modos de
de
servicio

3.7.1 Materiales

El manual recomienda una combinación específica de materiales para usar en el diseño del pavimento, que se usa comúnmente y ha demostrado que tiene éxito:

- Pavimento de adoquines de hormigón (CBP) sobre base estabilizada con cemento
 - Adoquines de hormigón de 80 mm de espesor.
 - Material de la capa de colocación (arena) de 30 mm.
 - Base estabilizada con cemento
 - Sub base de material granular triturado o sub base estabilizada con cemento
 - Capping o Corona granular, que es una capa granular de bajo costo con una capacidad de soporte del suelo CBR mayor al 15%

y una plasticidad máxima PL de 10%. Este capping o corona se usa cuando el CBR de la subrasante es inferior al 5%

Las propiedades de los materiales que fueron utilizados para el diseño del modelo se presentan en la Tabla 12.

Capa	Módulo de Elasticidad E (MPa)	Poisson
Superficie (pavimento y arena)	4.000	0,15
Base Estabilizada Cemento (C8/C10) 10 MPa)	35.000	0,15
Sub base granular	300	0,30
Corona granular	250	0,35
Sub rasante	10 * CBR	0,40

Tabla 12 Propiedades de materiales.

Materiales de pavimento alternativos para la capa superficial o de rodadura tienen poco impacto en la resistencia general del pavimento y, por lo tanto, pueden sustituirse por materiales de pavimento alternativos sin mayor impacto en el rendimiento estructural general. El esfuerzo de tracción máximo en la base no se ve muy afectado por la rigidez del material de superficie, sin embargo, la contribución de la capa de superficie al rendimiento estructural no es insignificante porque si se omite la capa superficial, la tensión en la base aumentaría significativamente.

Aunque el manual recomienda una combinación específica de materiales para usar en el diseño del pavimento, también se puede usar para una amplia gama de materiales mediante el uso de un Factor Equivalente de Material (MEF) que se explicará con más detalle a continuación.

Los factores de equivalencia del material (MEF) se definen como la relación entre la resistencia a la tracción de la mezcla granular estabilizada con

cemento C8/10 ($\sigma_{C8/10}$) y, la resistencia a la tracción del material alternativo (σ_{new}) como se ve en la siguiente ecuación.

$$MEF = \sigma_{C8/10} / \sigma_{new} \quad (1)$$

En el Anexo No. 01 hay una lista de Factores de Equivalencia de Materiales para diferentes materiales. Después de que el espesor de la capa base C8 / 10 se haya establecido a partir de la Tabla de diseño ($d_{C8/10}$), el espesor equivalente para el material proyectado para la capa base (d_{new}) se calcula con la siguiente ecuación:

$$d_{new} = d_{C8/10} \cdot MEF \quad (2)$$

3.1.1 Sistema de cargas en el pavimento

El sistema de carga que se utilizará en el pavimento se transforma en una Carga de una Rueda Equivalente única (SEWL - Single Equivalent Wheel Load) que describe las cargas reales, por lo que es esencial recopilar información sobre el entorno de carga en el pavimento planificado para conocer el SEWL a usar en el proceso de diseño.

Los daños en los pavimentos portuarios se explican por cómo se combinan la presión de los neumáticos y las cargas de las ruedas para degradar el pavimento; la diferente magnitud de las cargas de las ruedas causará diferentes grados de daño al pavimento.

Hemos dicho que la carga en pavimentos de servicio pesado excede los niveles de la carretera debido a la manipulación de contenedores por parte de los transportistas, carretillas elevadoras frontales o apiladores de alcance; por lo que la carga de diseño que se utilizará debe ser la carga crítica, que se define como la carga cuyo valor y número de repeticiones conducen al mayor daño al pavimento.

El factor de carga dinámica, f_d , tiene en cuenta los efectos de la carga dinámica inducida por el frenado, las curvas, la aceleración y la superficie irregular. Las cargas de las ruedas se ajustan por los factores representados en la Tabla 13.

Condición	Tipo de equipo	<i>fd</i>
Frenado	Reach Stacker Straddle Carrier Side Lift Truck Tractor and Trailer	±30% ±50% ±20 % ±10 %
Esquinas	Reach Stacker Straddle Carrier Side Lift Truck Tractor and Trailer	±40% ±60% ±30 % ±30 %
Aceleración	Reach Stacker Straddle Carrier Side Lift Truck Tractor and Trailer	±10% ±10% ±10 % ±10 %
Superficies desniveladas (efecto olas)	Reach Stacker Straddle Carrier Side Lift Truck Tractor and Trailer	±20% ±20%

Tabla 13 Factores de carga dinámica

Cuando se apliquen más de una de estas condiciones simultáneamente, el factor de carga dinámica fd debería tener en cuenta múltiples efectos dinámicos al sumar los factores; aunque esto causa un elemento de conservadurismo porque el esquiamiento y el frenado total aplicadas al mismo tiempo es una situación poco común.

Si bien las cargas estáticas en las bases de esquina aplican tensiones muy altas al pavimento, por lo que estas tensiones pueden ser tomadas por el concreto del adoquín o el material de la superficie usado, y puede ocurrir algún daño superficial en la superficie.

También es conocido que los contenedores generalmente se apilan en filas o bloques con un máximo de cinco contenedores de altura; y que es poco probable que todos los contenedores en la pila estén completamente cargados, por lo que los pesos brutos máximos se reducirán en un rango del 10% al 40%.

En un diseño cuando solo se considera una rueda, la tensión horizontal máxima se produce debajo de la rueda en el centro de la rueda y con la distancia de la rueda se reduce. Sin embargo, si hay dos ruedas juntas, las tensiones debajo de las ruedas se afectan entre sí, por lo que la tensión debajo de cada rueda aumenta en una cantidad específica relacionada con la proximidad de la otra rueda.

Los factores de proximidad se basan en el espacio entre las ruedas y la profundidad efectiva de la losa. La profundidad efectiva se puede aproximar con una fórmula, la siguiente ecuación, que depende del CBR de la subrasante y representa la profundidad teórica de la losa si se hubiera construido con material de subrasante.

$$Profundidad\ efectiva = 300 \sqrt[3]{\frac{35.000}{CBR * 10}}$$

- El CBR es la única variable en la ecuación, los otros parámetros son constantes.

Espaciamiento entre ruedas (mm)	Factor de proximidad para la profundidad efectiva para la base de:		
	1.000 mm	2.000 mm	3.000 mm
300	1,82	1,95	1,98
600	1,47	1,82	1,91
910	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 14 Factores de proximidad de ruedas.

Los factores de proximidad de la rueda vistos en la Tabla 14 se multiplican con la carga estática de la rueda para determinar la carga efectiva de la rueda. El Manual proporciona ecuaciones para calcular la carga de la rueda para los siguientes equipos de manipulación;

- Camiones elevadores frontales y apiladores de alcance
- Straddle Carriers
- Camiones de elevación lateral
- Grúas de pórtico de patio
- Sistemas de tractores y remolques
- Grúas móviles

En los cálculos de la rueda, solo se considera un lado del equipo y, en el caso de un equipo o maquinaria asimétrica, se elige el lado más pesado.

3.7.2 Período de Diseño

La vida útil del pavimento portuario va unida a la propia concepción del desarrollo de un puerto. Determina el número de operaciones que el pavimento ha de soportar sin que deba ser dejado fuera de servicio. La vida útil de un pavimento portuario definitivo se establece entre 15 y 25 años, al tratarse de una infraestructura que requiere un nivel de seguridad 1 (pequeño riesgo de pérdida de vidas humanas o deterioros ambientales en caso de rotura).

El pavimento debe ser diseñado para la parte del pavimento en que se trafica con mayor frecuencia y para una vida de 25 años, de tal forma de calcular el número de pasadas a través de la vida de diseño. El número de pasadas podría reducirse para decir el 10% del valor calculado, si es que se tiene un conocimiento detallado de la operación propuesta.

3.7.3 Diseño de capa base

A partir de la carga de rueda equivalente única y la cantidad supuesta de tráfico durante el período de diseño, la tabla de diseño se puede utilizar para estimar el grosor de la capa base, como se puede ver en el gráfico 30. La tabla de diseño solo se aplica a la mezcla granular estabilizada con cemento C8/10 pero con el uso de factores de equivalencia de material (MEF), el espesor de la capa base se puede estimar para otros materiales.

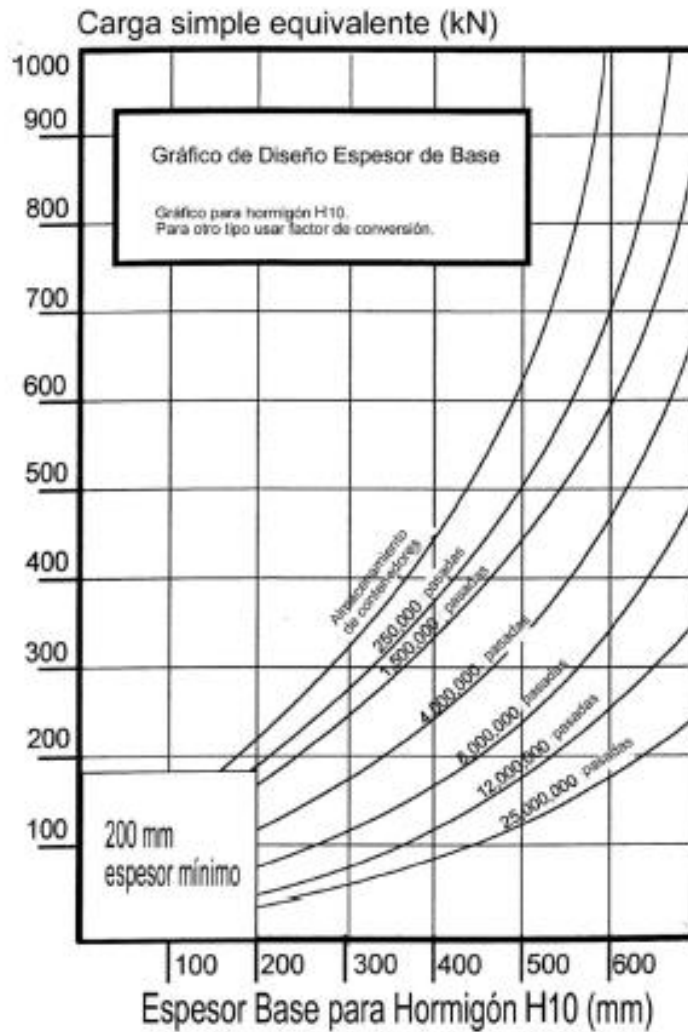


Figura 30 Ábaco de diseño de base para hormigón.

3.7.4 Diseño de la estructura del pavimento

Esta parte del manual considera la Tabla 15, la cual muestra los espesores de sub-base y coronación según corresponda la capacidad de soporte de la subrasante.

%CBR de Subrasante	Espesor de coronación (Mejoramiento) (mm)	Espesor de sub-base (mm)
1%	900	150
2%	600	150
3%	400	150
4%	250	150
5% y superiores	No requiere	150

Tabla 15 Espesores de coronación y subbase

La relación de Soporte de California CBR de la subrasante debe medirse en lugares más profundos que en el caso de un pavimento de carretera porque

en pavimentos de servicio pesado las tensiones se desarrollan a profundidades mayores.

3.8 Uso del software ALIZE para análisis de estructuras

El software ALIZE (LCPC - SETRA, 2011) o ALIZE-LCPC es un programa de dimensionamiento de pavimentos basado en un modelo informático. Este software ha sido desarrollado por las organizaciones francesas LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) y SETRA (Service d'Etudes sur les Transports, les Routes et leurs Aménagement). Se trata del método de dimensionamiento de uso más extendido para las redes de carreteras de Francia, además de ser usado por otras agencias externas.

La versión más completa del programa contiene tres módulos:

- “Alize-mechanical module”: determinación de deformaciones y tensiones en las capas generadas por el tráfico.
- “Alize-frost thaw module”: verificación del diseño considerando el comportamiento de la estructura ante los efectos de la escarcha en invierno.
- “Alize-back calculation module”: cálculo del módulo elástico de los materiales de los pavimentos basado en medidas de deflexión en ensayos.

En cuanto a las especificaciones mecánicas del modelo, éste permite evaluar las tensiones generadas por el tráfico en hasta 15 capas que pueden conformar el pavimento, haciendo uso del modelo de Burmister. La estructura descansa sobre un espacio semiinfinito, y se compone de diversas capas de espesor constante y comportamiento lineal, isotrópico y elástico.

Los materiales de las capas se definen únicamente a través de dos parámetros: *su módulo elástico E y coeficiente de Poisson*. Los enlaces entre las capas se pueden disponer como conexión total, parcial, o deslizante. Las cargas se representan como circulares, uniformes y verticales, y pueden reproducir varios tipos de ejes de vehículos.

El manual del usuario disponible de este programa data de 2011, por lo que se puede considerar que éste es un método vigente.

Este software permite que se pueda determinar las deformaciones y los esfuerzos en cada capa del pavimento y se evalúa la estructura. Las deformaciones y los esfuerzos no deben sobrepasar los valores máximos admisibles de cada capa conforme al modelo correspondiente.

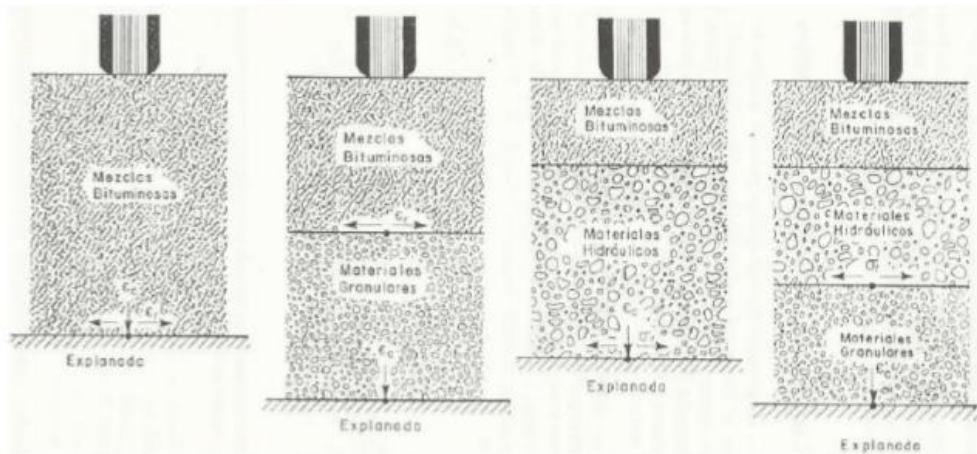


Figura 31 Modelos de falla en pavimentos - metodología racional

El modelo de falla para la estructura recomendada para bases granulares estabilizadas corresponde al # 3 y # 4 (de izquierda a derecha); se debe verificar los esfuerzos de flexo-tracción en la capa estabilizada y las deformaciones permanente en la subrasante para validar la estructura como apropiada.

Para aplicar el software ALIZE se debe aplicar los siguientes pasos:

Paso 1: Capacidad a flexo-tracción de grava - cemento :

Para poder comprobar si son suficientes para soportar los esfuerzos de flexo tracción los espesores, debe determinarse el módulo de rotura de la grava-cemento reducido por el consumo de fatiga de las repeticiones del eje estándar de 8.2 Ton (80 kN).

La resistencia a la tracción de la grava-cemento se calcula de la siguiente manera:

$$f = 0,51 * (UC)^{0,88}; \text{ donde:}$$

f = resistencia a la flexion medida en psi y,

UC = resistencia a la compresion simple medida en psi

Si se utiliza el valor de resistencia a la compresión simple (UC) mínimo especificado en el MTOP para base estabilizada con cemento, *sección 404*: $f'c$ 2.45 MPa como valor de diseño (en caso de utilizarse bases estabilizadas con resistencias superiores se deberá hacer el cálculo respectivo), de la grava - cemento se obtiene su resistencia a la flexo tracción (M_r):

$$M_r (7 \text{ días}) = 0.617 \text{ MPa.}$$

Pero el diseño de materiales estabilizados con cemento por medio de la metodología racional habitualmente se trabaja con valores de resistencia a 1 año, de acuerdo a lo indicado por (Reyes Lizcano, 2003), la referencia es puntual y se puede observar en el *Capítulo 3 Dimensionamiento de Pavimentos, Determinación de Ciertas Características de Materiales de Calzadas, Capas* en materiales tratados con ligantes hidráulicos, literal a) Modulo de Rigidez y Resistencia a la Tracción.

El crecimiento de resistencia a la tracción de 7 a 360 días es de acuerdo a esta referencia para Grava Cemento de entre 1,10 a 1,50, sin embargo, conservadoramente acorde a la consulta y experiencia del Centro Técnico del Hormigón de Holcim Ecuador, se considerará de 1,85 veces, por lo que el módulo de rotura de diseño propuesto para la estructura es:

$$M_r (\text{año}) = 0.617 \times 1.85 = 1.141 \text{ MPa.}$$

Para el cálculo del esfuerzo de flexo tracción admisible se procede con el cálculo de consumo por fatiga como sigue:

$$\frac{\sigma}{M_r} = 1 - \frac{\log(N)}{a}; \text{ donde}$$

- N = número de repeticiones de ejes equivalentes (8.2 Ton) para la falla.
- σ = Tensión producida en la fibra inferior de la capa de grava - cemento por carga de eje equivalente de 8.2 Ton.
- M_r = Resistencia de ruptura por flexo-tracción.
- a = El coeficiente de ajuste que depende a su vez del tipo de estructura; 12 si es Suelo-Cemento, 15 si es Grava-Cemento

Reemplazando M_r en la fórmula antes descrita obtendremos el esfuerzo de flexo-tracción (σ) producido para un número determinado de repeticiones de las cargas estándar de 8.2 Ton; este valor obtenido se lo contrastará contra el valor que arroje el ALIZE para ver si está cumpliendo con el criterio de flexo-tracción admisible en la capa estabilizada.

Paso 2: Deformación vertical admisible para subrasante

Para calcular la deformación vertical admisible en la subrasante se la determinará mediante la ecuación recomendada por la Shell en su Manual de Diseño de Pavimentos (Shell International Petroleum Company Limited, 1978), ellos calcularon la deformación unitaria vertical por compresión (ϵ_z) en la parte superior de la subrasante, mediante un programa llamado BISTRO e información obtenida en el Ensayo Vial AASHO y produjeron las siguientes expresiones para determinar esa deformación unitaria por compresión en la parte superior en función de un porcentaje de confiabilidad:

$$\text{Confiabilidad del 50\% } \epsilon_z = 2,8 * 10^{-2} * (N)^{-0,25}$$

$$\text{Confiabilidad del 85\% } \epsilon_z = 2,1 * 10^{-2} * (N)^{-0,25}$$

$$\text{Confiabilidad del 95\% } \epsilon_z = 1,8 * 10^{-2} * (N)^{-0,25}$$

Donde:

ϵ_z = deformación unitaria vertical por compresión admisible en la parte superior de la subrasante.

N = Numero de aplicaciones de carga

Paso 3: Comparación de los valores

En este paso se hará una comparación de los valores calculado mediante los pasos 1 y 2 relativos al esfuerzo de flexo-tracción y al de la deformación vertical admisible para subrasante, versus los valores arrojados por el ALIZE en una estructura de pavimento dada.

Para ello deberemos ya tener la estructura calculada mediante la metodología del BRITISH PORTS ASSOCIATIONS HEAVY DUTY PAVEMENTS, e ingresarla en el software en el menú Computation / Alize Mechanical:

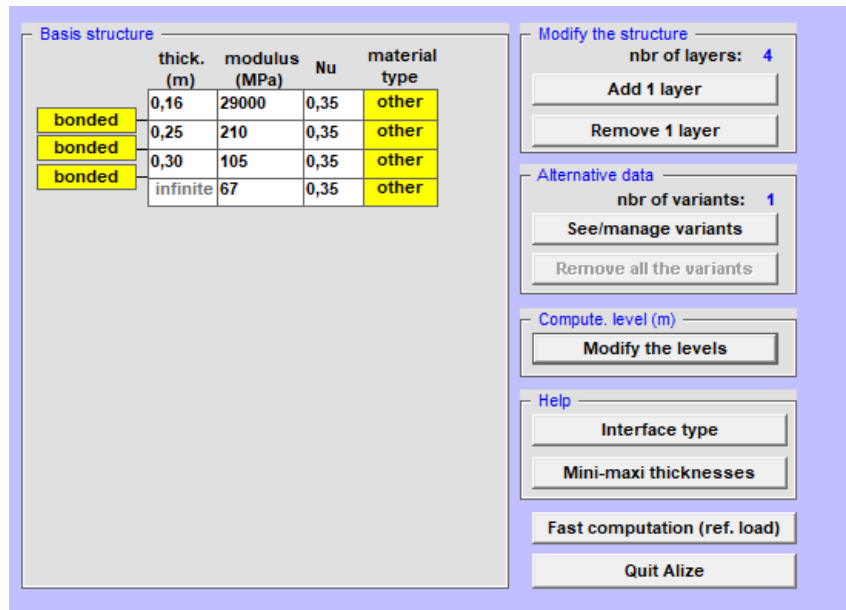


Figura 32 Ingreso de datos al programa ALIZE

Por cada capa se debe definir si esta está unida (bonded condition) a la otra o simplemente apoyada (unbonded condition), siendo este último el caso más común. Luego ingresar los espesores en metros, módulos de Elasticidad de cada capa expresados en MPa, el coeficiente de Poisson (NU) y el tipo de material; para ello existe una base de datos ya precargada o se puede utilizar la opción “otro material” e ingresar sus características. A continuación, se debe definir la carga de diseño, esto se hace en el menú Customize / Reference Load, siendo lo usual para diseño de pavimentos viales considerar eje estándar 8.2 Ton con llantas de presión de inflado de 100 Psi (0.689 MPa)

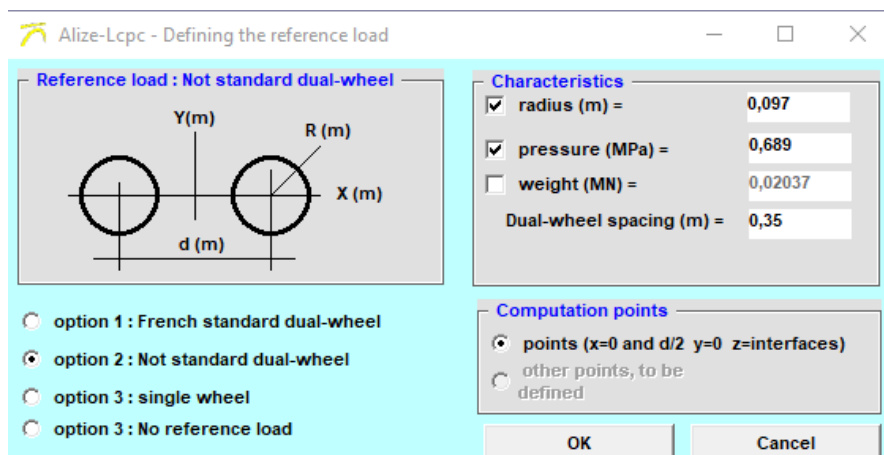


Figura 33 Se define carga de diseño

En el caso de una carga diferente se deberá hacer el ajuste respectivo, tal es el caso de los equipos de transporte de carga pesada usados en los puertos. A continuación, se deberá correr el modelo ingresado, mediante el menú Computation / opción Fast Computation (ref. load) y obtener la información deseada:

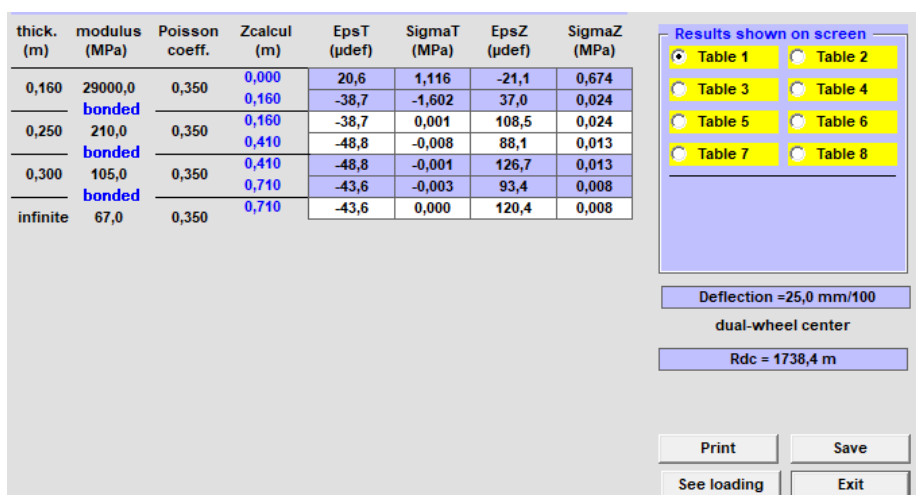


Figura 34 Resultados

Donde se podrá observar en la columna Eps T (μ def) las máximas deformaciones por cada capa tanto en la parte superior como inferior, así como en la columna Sigma T (MPa), los esfuerzos máximos producidos y compararlos contra los calculados en los pasos 1 y 2, para la capa de base sea está estabilizada o no; con lo que se puede comprobar si la estructura estará en capacidad de resistir las condiciones de diseño planteadas.

4) CASO DE ESTUDIO

4.1 Patíos Cía. CITIKOLD en la ciudad de Guayaquil

Citikold S.A. es una empresa que en el 2006 inicio sus actividades de Agencia Marítima, ofertando los servicios de agenciamiento para todo tipo de carga, maquinaria, carga suelta y chárter de barcos.

Actualmente ya acumula varios años de experiencia en la industria del transporte marítimo y logística portuaria, y ha empezado operaciones en Bolivia.

Dentro del holding de empresas del Grupo CITIKOLD cuenta con la empresa Road Feeder Services (RFS), RFS es una empresa especializada en contenedores con experiencia en el servicio naviero, y especialidad en el

manejo de contenedores Reefers & Dryvan. Para su operación cuenta con un patio seco de contenedores en las calles 23 C NO y Avenida 43 A NO de la ciudad de Guayaquil, sector Perimetral.

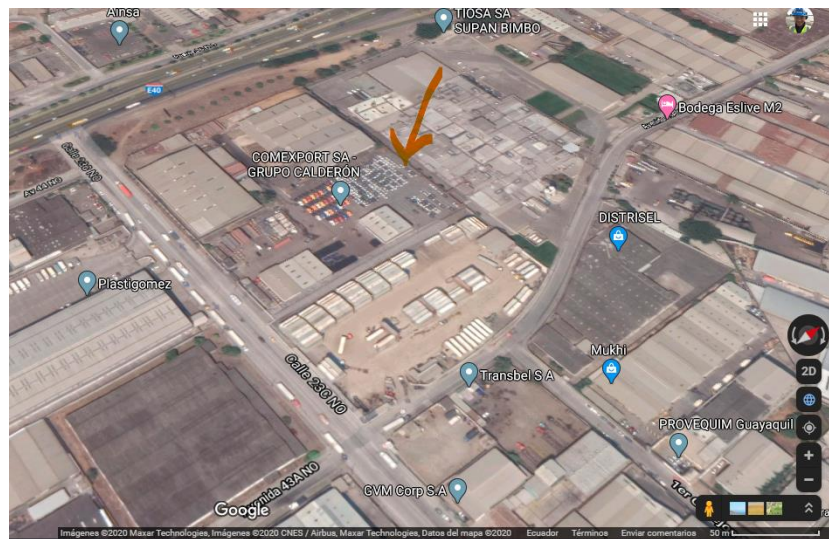


Figura 35 Ubicación CITIKOLD

El patio de contenedores tiene un uso de recepción de contenedores vacíos principalmente; aunque también es usado para reparación y mantenimiento de contenedores, los contenedores son dispuestos en bloques de 5 elementos de altura y en dos corredores como se muestra en la foto aérea.

4.2 Diseño de Pavimentos basado en el British Ports Associations Heavy Duty Pavements Manual

Para el cálculo de la estructura requerida en los patios de CITOKOLD, se tiene una información básica relacionada al CBR del suelo y al tipo de equipos que opera en el patio, estos equipos son dos Reach Stackers, similares a los que se observa en la Figura.



Figura 36 Reach stackers

Vamos a realizar el cálculo de la estructura del pavimento paso a paso:

Paso 1: Carga Estática

Lo primero será determinar la capacidad de carga aplicada en el eje delantero, que es el de mayor carga; para ello usaremos un reach stacker de uso común sin estabilizadores de la marca KONECRANES del Modelo R5-36 (Kone Cranes, 2017), y atendiendo a su cartilla de especificaciones, podemos obtener esa información:

TECHNICAL DATA

Model	TFC 45 R/hc *	TFC 45 R/hc *	R 5-31	R 5-32	R 5-36	R 6-36 M	R 6-41 MS	R 6-45 LS
Capacities								
Front stabilizer (stacking capacities with stabilizer applied)							✓	✓
Maximum stacking height, 1st / 2nd / 3rd row								
- 8'6" standard containers	5 / 5 / 4	5 / 5 / 4	5 / 5 / 4	5 / 5 / 4	5 / 5 / 4	6 / 6 / 5	6 / 6 / 5	6 / 5 / 4
- 9'6" high-cube containers	5 / 4 / 3	5 / 4 / 3	5 / 4 / 3	5 / 4 / 3	5 / 4 / 3	6 / 5 / 4	6 / 5 / 4	5 / 5 / 4
Maximum capacity, 1st / 2nd / 3rd row (t)								
- 8'6" and 9'6" containers	45 / 27 / 13	45 / 31 / 16	45 / 31 / 15	45 / 33 / 17	45 / 36 / 18	45 / 36 / 18	45 / 41 / 31	45 / 45 / 36
Maximum speeds								
Lifting (m/s)								
- laden, 26 t	h: 0.25 / hc: 0.26	h: 0.25 / hc: 0.26	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
- unladen	h: 0.34 / hc: 0.40	h: 0.34 / hc: 0.40	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Lowering (m/s)								
- laden, 26 t	0.50	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
- unladen	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Traveling (km/h)								
- laden, 45 t	25	25	25	25	25	25	25	20
- unladen	25	25	25	25	25	25	25	20
Weights (t)								
Total weight (unladen, with standard top pick spreader)	68	72	71	73	75	72	80	81
Axle load, front / rear (t)								
- laden, 45 t boom α = 45°	87 / 26	87 / 30	87 / 29	87 / 31	87 / 33	88 / 29	88 / 36	85 / 41
- laden, 30 t boom α = 45°	69 / 29	69 / 33	69 / 32	69 / 34	69 / 36	70 / 32	71 / 39	68 / 43
- unladen boom α = 25°	36 / 32	36 / 36	38 / 33	38 / 35	38 / 37	38 / 34	40 / 40	39 / 42
Wheels and tires								
Tire size	18.00.25	18.00.25	18.00.25	18.00.25	18.00.33	18.00.25	18.00.33	18.00.33
Rim size	13.00.25	13.00.25	13.00.25	13.00.25	15.00.25	13.00.25	15.00.25	15.00.25
Number of wheels, front (driven) / rear	4 / 2	4 / 2	4 / 2	4 / 2	4 / 2	4 / 2	4 / 2	4 / 2
Additional data								
Drawbar pull (kN)								
- with standard Stage IIIA (Tier 3) engine Cummins QSM11	290	290	280	280	260	280	260	260
- with standard Stage IV (Tier 4) engine Isuzu TAD1170VE	n.a.	n.a.	280	280	260	280	260	260
- with optional Stage IV (Tier 4) engine Cummins QSL9	n.a.	n.a.	280	280	260	280	260	260
Maximum gradeability with standard Stage IIIA (Tier 3) engine (%)								
- laden, 45 t	24.8	24.5	24.0	23.0	20.0	23.0	20.0	20.0
- unladen	42.0	40.0	40.0	38.0	34.0	39.0	32.0	32.0
Maximum gradeability with standard Stage IV (Tier 4) engine (%)								
- laden, 45 t	n.a.	n.a.	24.0	23.0	20.0	23.0	20.0	20.0
- unladen	n.a.	n.a.	40.0	38.0	34.0	39.0	32.0	32.0
Maximum gradeability with optional Stage IV (Tier 4) engine (%)								
- - -								

Figura 37 Capacidad reach stacker

Este modelo R5-36 indica una capacidad de carga sin peso de contenedores de 38 T (es decir 38.000 kg) con el boom a 25 °, estos 38.000 kg equivalen a 372,70 kN ~ 373 Kn, que repartidos en 4 neumáticos delanteros equivale a una carga estática aplicada de: $373 \text{ kN} / 4 = 93,25 \text{ kN}$.

Proximidad de Ruedas

Para este cálculo se necesita iniciar determinando la profundidad efectiva de la carga, dada por la formula antes vista:

$$\text{Profundidad efectiva} = 300 \sqrt[3]{\frac{35.000}{\text{CBR} \cdot 10}}; \text{ considerando CBR de 4\% del terreno}$$

en sitio,

$$\text{Profundidad efectiva} = 300 \sqrt[3]{\frac{35.000}{4 \cdot 10}} = 2.869 \text{ mm}$$

Asumiendo que la carga en el eje frontal o delantero es crítica, y tomando factores de distancia entre llantas, de acuerdo al manual del equipo de:

- 423 mm (espacio de centro a centro entre neumáticos dobles), aunque no está especificada en el manual, se la puede obtener restando las distancias $(W1-W2)/2$
- 4.190 mm (distancia entre los dos centros de las ruedas de los ejes delanteros internos) identificada en catalogo como W2 y,
- 3.580 mm (distancia del centro de carga desde el eje delantero)

Y haciendo a continuación la interpolación con relación a la Tabla 16:

Espaciamiento entre ruedas (mm)	Factor de proximidad para la profundidad efectiva para la base de:		
	1.000 mm	2.000 mm	3.000 mm
300	1,82	1,95	1,98
600	1,47	1,82	1,91
9100	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 16 Factor de proximidad

Tenemos, para la distancia de 423 mm:

$$2.000 \text{ mm: } 1,82 + \frac{600-423}{600-300} (1,95 - 1,82) = 1,90$$

$$3.000 \text{ mm: } 1,91 + \frac{600-423}{600-300} (1,98 - 1,91) = 1,93$$

$$2.869 \text{ mm: } 1,90 + \frac{2.869-2.000}{3.000-2.000} (1,93 - 1,90) = \mathbf{1,92}$$

Para la distancia de 4.190 mm

$$2.000 \text{ mm: } 1,00 + \frac{4.800-4.190}{4.800-3.600} (1,00 - 1,00) = 1,00$$

$$3.000 \text{ mm: } 1,00 + \frac{4.800-4.190}{4.800-3.600} (1,02 - 1,00) = 1,01$$

$$2.869 \text{ mm: } 1,00 + \frac{4.190-2.000}{3.000-2.000} (1,01 - 1,00) = \mathbf{1,01}$$

Para la distancia de 3.580 mm

$$2.000 \text{ mm: } 1,00 + \frac{3.600-3.580}{3.600-2.400} (1,02 - 1,00) = 1,00$$

$$3.000 \text{ mm: } 1,02 + \frac{3.600-3.580}{3.600-2.400} (1,27 - 1,02) = 1,02$$

$$2.869 \text{ mm: } 1,00 + \frac{2.869-2.000}{3.000-2.000} (1,02 - 1,00) = 1,02$$

Esto significa que la carga única efectiva se aumenta en $B = 1 + 0,92 + 0,01 + 0,02 = 1,95$, con lo que la carga estática efectiva de la rueda es $93,25 \text{ kN} \cdot 1,95 = \mathbf{182 \text{ kN}}$

Paso 3: Factores Dinámicos

Los factores de carga dinámica, se los obtiene de la Tabla Factores de Carga Dinámica para un equipo tipo Reach Stacker.

- *Frenado: +30%*
- *Esquina: +40%*
- *Aceleración: + 10%*
- *Superficie desnivelada: = 0% (no existe una superficie tal en este caso)*

El factor de carga dinámica total será de 80% = 0,80; aunque expertos indican que existe un elemento de conservadurismo en el uso de este número de repeticiones porque supone que se aplicarán giros en esquina y frenados a la vez, sin embargo esto no es común por lo que recomiendan

que el factor dinámico podría reducirse a 0,3 o 0,4; siendo así, entonces para el caso de estos patios reduciremos el valor que ha arrojado el cálculo, con lo que la Carga de una Rueda Equivalente única (SEWL - Single Equivalent Wheel Load) será de:

$$1,40 * 128 \text{ kN} = 254,8 \sim 255 \text{ kN}$$

Paso 4: Periodo de Diseño /Numero de pasadas

De acuerdo con la información dada por los personeros de CITIKOLD, la parte del pavimento que se trafica con mayor frecuencia soporta 50 pasadas en un lugar por día y el pavimento debe diseñarse para una vida de 25 años.

Número de pasadas a través de la vida de diseño:

$$50 \cdot 365 \cdot 25 = 456.250$$

Con esta información, se tiene un SEWL completo de **255 kN** y el número de pasadas se establece en **456.250**.

Paso 5: Uso de Abaco

La tabla o ábaco de diseño muestra que se requiere un espesor de ~300 mm de C8/C10 o CBGM (Cement Bound Granular Mixture) para la base del pavimento; debido al costo y para hacer que la construcción del pavimento sea más costo - efectiva, proponemos usar solo 200 mm de C8/10 CBGM (Cement Bound Granular Mixture) y, por lo tanto, necesitamos transformar 100 mm de C₈/C₁₀ en una base estabilizada con cemento o una Base con un Factor Equivalente de Material según la tabla mostrada en el Anexo 01; por lo que podemos plantear al menos estas opciones.

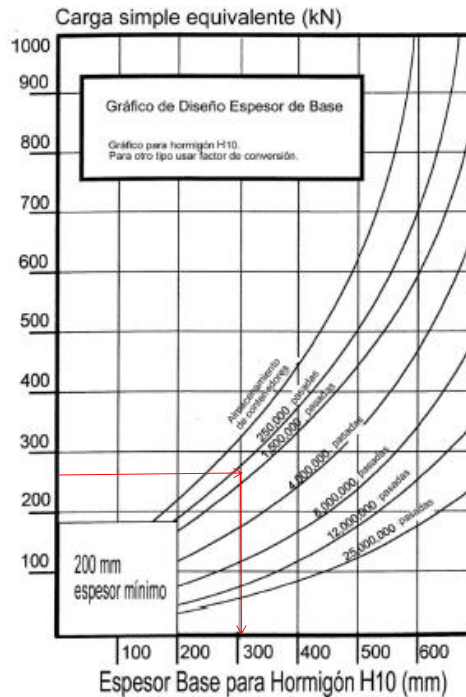


Figura 38 Abaco para espesor base para hormigón

1. Mantener el Adoquín Portuario y reemplazar parcialmente la capa $C_{8/10}$ (lean concrete) por una Base Estabilizada con Cemento. Aplicando el MEF (Material Equivalence Factor) para una base estabilizada (Hydraulically Bound Mixtures) Tipo $C_{3/4}$ cuya equivalencia es una resistencia $f'c$ de $2,8 \text{ N/mm}^2$ o $2,8 \text{ MPa} \sim 28,55 \text{ Kg/cm}^2$ mínimo a 7 días) es de 1.38 por lo que el grosor se convierte en $100 \cdot 1,38 \sim 140 \text{ mm}$.
2. Mantener el Adoquín Portuario y reemplazar parcialmente la capa c_8/C_{10} (lean concrete) por una Sub Base Granular Clase 1. El MEF para una base de material granular seleccionada (Crushed rock sub-base material of $\text{CBR} \geq 80\%$) que podríamos asumirla como una Sub Base Clase 1 es de 3.00 por lo que el grosor se convierte en $100 \cdot 3.00 = 300 \text{ mm}$.
3. Mantener el Adoquín Portuario y reemplazar totalmente la capa $C_{8/10}$ (lean concrete) por una Base Estabilizada con Cemento. Aplicando el MEF (Material Equivalence Factor) para una base estabilizada (Hydraulically Bound Mixtures) Tipo $C_{3/4}$ cuya equivalencia es una

resistencia f'_c de 2,8 N/mm² o 2,8 MPa ~ 28,55 Kg/cm² mínimo a 7 días) es de 1.38 por lo que el grosor se convierte en $300 \cdot 1,38 \sim 415$ mm.

Paso 6: Diseño de la Estructura de Pavimento

Para la subrasante con 4% de CBR, la Figura 37 muestra que el grosor de la subbase debe ser de 150 mm y una capa de mejoramiento de 250 mm.

Paso 7: Pavimento Final

Opción 1

100 mm	Adoquín Portuario 55 MPa
200 mm	C ₈ /C ₁₀ CBGM
140 mm	Base Estabilizada f'_c 2.5 MPa / 7 días
150 mm	Sub-base Clase 1
250 mm	Mejoramiento

Opción 2

100 mm	Adoquín Portuario 55 MPa
200 mm	C ₈ /C ₁₀ CBGM
300 mm	Sub-base Clase 1 (incluye los 150 mm mínimos)
250 mm	Mejoramiento

Opción 3

100 mm	Adoquín Portuario 55 MPa
415 mm	Base Estabilizada f'_c 2.5 MPa / 7 días
150 mm	Sub-base Clase 1
250 mm	Mejoramiento

4.3 Comprobación de esfuerzos y deformaciones mediante ALIZE

Paso 1: Capacidad a flexo-tracción de grava-cemento:

Se debe determinar el módulo de rotura de la grava – cemento reducido debido al consumo de fatiga de las repeticiones del eje estándar 80kn (8.2 ton) para poder verificar si los espesores propuestos de grava – cemento son los adecuados para soportar los esfuerzos de flexo tracción.

La resistencia a la tracción de la grava-cemento se calcula de la siguiente manera:

$$f = 0,51 * (UC)^{0,88}; \text{ donde:}$$

f = resistencia a la flexión medida en psi y,

UC = resistencia a la compresión simple medida en psi

$$f = 0,51 * (1422)^{0,88} = 303 \text{ psi} = 2,092 \text{ MPa}$$

Con lo que el M_r (365 días) = 3,871 MPa

Para el cálculo del esfuerzo de flexo tracción admisible se procede con el cálculo de consumo por fatiga como sigue:

$$\frac{\sigma}{M_r} = 1 - \frac{\log(N)}{a};$$

Para el cálculo de N, se hará un ajuste considerando que el eje estándar es de 80 kN y que el reach stacker descarga por rueda 255 kN, mediante la fórmula de la AASHTO:

$$LEF = \text{Load Equivalence Factor} =$$

$$\frac{\text{Nº ESAL de 80 kN que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{Nº ejes de X kN producen la misma pérdida de serviciabilidad}}; \text{ (Pavement, 2020)}$$

Y con ello calcular el $\sigma = 1,620 \text{ MPa}$

Paso 2:

Para calcular la deformación vertical admisible en la subrasante se la determinara mediante la ecuación recomendada por la Shell:

$$\varepsilon_z = 2,8 * 10^{-2} * (N)^{-0,25}$$

Con lo que el esfuerzo de flexo tracción admisible será de:

$$\varepsilon_z = 185 \mu$$

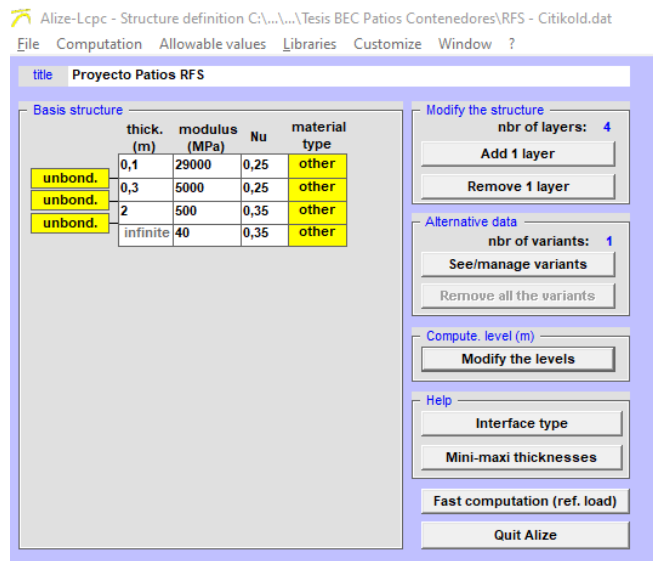


Figura 39 Introducción de datos

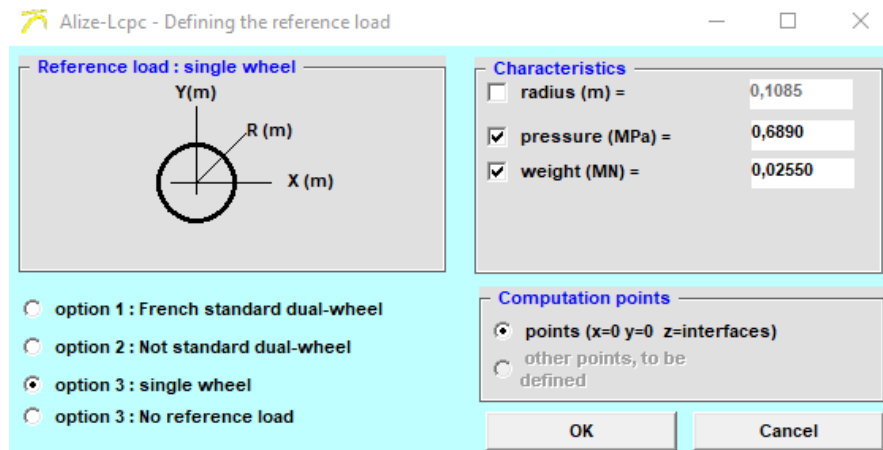


Figura 40 Ingreso de datos

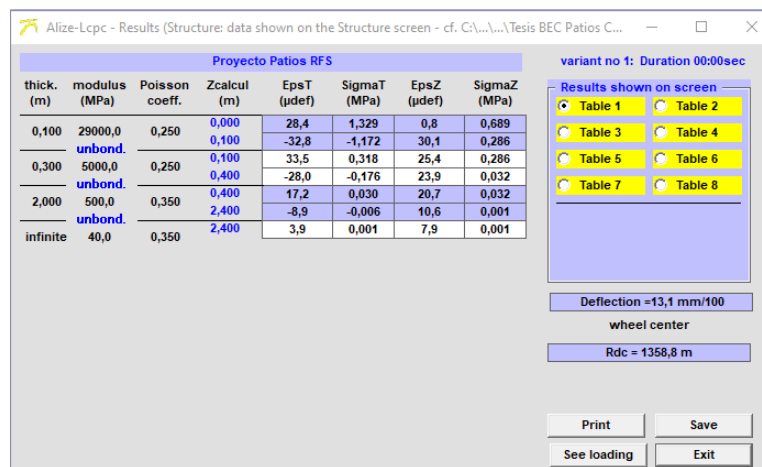


Figura 41 Resultados

3.1 Presupuesto OPCION 1: ADOQUIN CON LEAN CONCRETE Y BASE ESTABILIZADA CEMENTO

Para poder hacer el cálculo de los costos de las diferentes opciones de pavimentos, se elaborará el análisis de precios unitarios APUS, de acuerdo a los materiales requeridos, mano de obra y al equipo, El APU de esta primera opción se encuentra en el anexo de la tabla.

#	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
---	-------	--------	----------	-----------------	-------

OPCION 1: ADOQUIN CON LEAN CONCRETE Y BASE ESTABILIZADA CEMENTO					
1	Adoquín Portuario 55 MPa	m2	10.902,00	\$21,29	\$232.059,97
2	C8/C10 CBGM	m3	2.180,40	\$136,81	\$298.295,31
3	Base Estabilizada f'c 2.5 MPa / 7 días	m3	1.526,28	\$36,62	\$55.891,85
4	Sub-base Clase 1	m3	1.635,30	\$21,29	\$34.811,44
5	Mejoramiento	m3	2.725,50	\$21,29	\$58.019,06
TOTAL OPCION 1					\$679.077,63

3.2 Presupuesto OPCION 2: ADOQUIN CON LEAN CONCRETE Y BASE DE Material Granular Importado

#	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
OPCION 2: ADOQUIN CON LEAN CONCRETE Y BASE DE MATERIAL GRANULAR IMPORTADO					
1	Adoquín Portuario 55 MPa	m2	10.902,00	\$21,29	\$232.059,97
2	C8/C10 CBGM	m3	2.180,40	\$136,81	\$298.295,31

3	Base Estabilizada f'c 2.5 MPa / 7 días	m3	-	\$36,62	\$0,00
4	Sub-base Clase 1	m3	3.270,60	\$21,29	\$69.622,87
5	Mejoramiento	m3	2.725,50	\$21,29	\$58.019,06
TOTAL OPCION 2					\$657.997,21

3.3 Presupuesto OPCION 3: ADOQUIN CON BASE ESTABILIZADA CEMENTO

OPCION 3: ADOQUIN CON BASE ESTABILIZADA CEMENTO					
1	Adoquín Portuario 55 MPa	m2	10.902,00	\$21,29	\$232.059,97
2	C8/C10 CBGM	m3	-	\$136,81	\$0,00
3	Base Estabilizada f'c 2.5 MPa / 7 días	m3	4.524,33	\$36,62	\$165.679,41
4	Sub-base Clase 1	m3	1.635,30	\$21,29	\$34.811,44
5	Mejoramiento	m3	2.725,50	\$21,29	\$58.019,06
TOTAL OPCION 3					\$490.569,88

3.4 Análisis Económico de las opciones presentadas

Parte de la propuesta de esta tesis es realizar el análisis financiero sobre los pavimentos con base estabilizada con cemento para patios portuarios para lo que se realizaron 3 propuestas diferentes para poder hacer así una comparación económica y poder constatar las ventajas financieras de las bases estabilizadas con cemento.

A continuación, en la tabla 17 se presenta el resumen de los presupuestos realizados para las diferentes opciones de pavimentos, en los que se puede observar que la opción 3 que corresponde al de adoquín con base estabilizada con cemento es el más económico con un presupuesto de

\$490.569,88, la cual consta de adoquín portuario, base estabilizada, sub-base clase 1, mejoramiento.

RESUMEN DE PRESUPUESTOS CITIKOLD - RFS

OPCIONES	Total
OPCION 1: ADOQUIN CON LEAN CONCRETE Y BASE ESTABILIZADA CEMENTO	\$679.077,63
OPCION 2: ADOQUIN CON LEAN CONCRETE Y BASE DE MATERIAL GRANULAR IMPORTADO	\$657.997,21
OPCION 3: ADOQUIN CON BASE ESTABILIZADA CEMENTO	\$490.569,88

Tabla 17 Resumen de Presupuesto

5) CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

De toda la información revisada a lo largo de este trabajo de titulación se puede concluir primeramente que se pudo cumplir con el objetivo básico trazado inicialmente, que era validar las bondades del uso de bases estabilizadas con cemento como una solución durable versus alternativas convencionales y su uso para patios de contenedores y; además realizar una evaluación financiera, complementando las soluciones propuestas mediante escenarios con superficies de rodadura como adoquines de alto tráfico.

Partiendo de este punto podemos concluir ciertas premisas:

- Una base estabilizada con cemento modifica las características del suelo al incorporar el cemento, de esta manera se mejoran las propiedades mecánicas logrando así una base sólida y estable, permitiendo una mayor resistencia del material granular.
- La rigidez proporcionada por la base estabilizada con cemento permite distribuir mejor las cargas de tráfico, haciendo que disminuya los esfuerzos en la sub-base o sub-rasante.

- En el Ecuador existe un cemento hidráulico conocido como Base Vial Tipo MH, este tipo de cemento se usa especialmente en este tipo de aplicaciones por cuanto sus características de un moderado calor de hidratación y una moderada resistencia a los sulfatos, permiten un mejor tiempo de fraguado, necesario para el proceso constructivo.
- Este trabajo de titulación se enfocó exclusivamente en pavimentos de servicio pesado para puertos, donde se analizó mediante el método de diseño del Manual de Pavimentos de Servicio Pesado de las Asociaciones de Puertos Británicos; fue pensado así porque su uso difiere en cierta forma del uso en vías para vehículos comerciales.
- Los pavimentos portuarios consisten en una capa superficial, ya sea de bloques/adoquines de concreto o asfalto, sobre una capa rígida de un material estabilizado con cemento para reducir el riesgo de asentamientos y surcos con el tiempo, cuyo principio es que los pavimentos están diseñados para permanecer en servicio durante toda la vida útil del pavimento.
- El periodo de diseño del pavimento es de 25 años.
- En pavimentos de servicio pesado las tensiones se desarrollan a profundidades mayores.
- Mediante el uso de un factor equivalente de material se puede usar algunas combinaciones de materiales y no solo la combinación específica recomendada, con esto se puede validar varias combinaciones y encontrar la más económica.
- El software ALIZE es un programa de dimensionamiento de pavimentos basado en un modelo informático, nos permite determinar de cada capa de pavimento las deformaciones y los esfuerzos, y de esa manera se evalúa la estructura. Las deformaciones y esfuerzos no deben sobrepasar los valores máximos admisibles correspondiente para cada capa conforme al modelo.
- Se propuso el diseño con 3 opciones para el pavimento:
 - Adoquín con lean concrete y base estabilizada cemento
 - Adoquín con lean concrete y base de material granular importado.

- Adoquín con base estabilizada cemento
- Realizado el presupuesto para las 3 opciones de pavimento se pudo constatar que la opción de adoquín con base estabilizada con cemento nos da un presupuesto de \$490.569,88; siendo esta la opción más económica.

5.2 Recomendaciones

Este tipo de bases estabilizadas con cemento son muy utilizadas en otros países por sus múltiples beneficios, las bases estabilizadas con cemento le dan al suelo sustanciales mejoras en cuanto a sus propiedades mecánicas, es por esto que se recomienda su uso en este tipo de metodología.

Debido a los resultados obtenidos en la comparación económica realizada con las diferentes opciones de estructuras equivalentes de pavimento para patios portuarios se recomienda el uso de las bases estabilizadas con cemento tanto en el aspecto técnico como en el financiero ya que es más rentable al darnos un presupuesto más bajo con relación a los métodos; esto puede verse aun maximizado si las fuentes de material pétreo están más alejadas del punto donde se requiere hacer el trabajo.

La ciudad de acuerdo a los especialistas, seguirá teniendo un movimiento portuario vertiginoso, dada su naturaleza comercial, por esta razón, una opción como esta donde se minimiza los tiempos de mantenimiento y favorece su uso intensivo y sin interrupciones es una solución viable y que podría incluso ahorrar mayores recursos en el largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- ACPA American Concrete Pavement Association. (2014). *Guía para Capas de Refuerzo con Hormigón Soluciones Sustentables para Capas de Refuerzo y Rehabilitación de Pavimentos Existentes*. Ames, Iowa: National Concrete Pavement Technology Center.
- American Concrete Institute - ACI. (1990). *ACI Committee 230. State-of-the-art report on soil-cement*. American Concrete Institute.
- CAMAE - CÁMARA MARÍTIMA DEL ECUADOR . (n.d.). Retrieved from Depósito de contenedores: <http://www.camae.org/afiliados/deposito-contenedores/>
- Consultants, J. K., & Smith, D. R. (2012). *Port and Industrial Pavement Design with Concrete Pavers 2nd Edition*. Leicester: Interlocking Concrete Pavement Institute .
- Diario El Universo. (2019, Julio 17). *Los puertos privados de Guayaquil impulsan más inversiones por el dragado*. Retrieved from Diario El Universo:
<https://www.eluniverso.com/noticias/2019/07/17/nota/7428435/puertos-privados-impulsan-mas-inversiones-dragado>
- Herra-Gómez, et al. (2019). *Guía para inspectores para la construcción de bases estabilizadas con cemento*. Retrieved from Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales:
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1435>
- Holcim Ecuador. (2014). *Cemento Hidraulico para Esatbilizacion de Suelos Tipo MH*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Holcim Ecuador S.A.
- INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalizacion. (2011). *NTE. INEN 2380. Cementos Hidraulicos. Requisitos de desempeño para cementos hidraulicos*.
- INEN. (2010). *NTE. INEN. 151*. Retrieved from Cemento Hidráulico. Definición de términos.:
https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_151-3.pdf

- INEN. (2012). *NTE 152. Cemento Portland Requisitos.* . Retrieved from https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_152-5.pdf
- Knapton, J. (2007). *THE STRUCTURAL DESIGN OF HEAVY DUTY PAVEMENTS FOR PORTS AND OTHER INDUSTRIES Edition 4.* Leicester: Interpave.
- Kone Cranes, K. (2017). *KONECRANES LIFTACE REACH STACKERS. KONECRANES LIFTACE REACH STACKERS.* Helsinki: kcliftrucks.com.
- Kristjansdottir, R. (2017). *Design of Heavy Duty Pavements.* KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY , SCHOOL OF ARCHITECTURE AND THE BUILT ENVIRONMENT. Stockhol, Sweden: KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY SCHOOL. Retrieved Mayo 2020
- LCPC - SETRA. (2011). *ALIZE-LCPC Software Version 1.3.* Montreuil - FRANCE : www.itech-soft.com .
- MTOP - Ministerio de Transporte y Obras Publicas. (2013). *Ministerio de Transporte y Obras Publicas Ecuador.* Retrieved from Especificaciones Ggenerales para la construccion de caminos y puentes. Vol. 3: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf
- Murúa, R. S. (2013). *Manual de Diseño de Pisos Industriales.* Providencia, Santiago - Chile : Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile.
- Pavement, I. (2020, Mayo). *Pavement Interactive - Load Equivalent Factors.* Retrieved from Pavement Interactive: <https://pavementinteractive.org/reference-desk/design/design-parameters/equivalent-single-axle-load/>
- PCA- Método de la Portland Cement Asociation. (n.d.). Método de la Portland Cement Asociation. *Diseño de Pavimento Suelo - Cemento.* Retrieved from Diseño de pavimentos Suelo-Cemento.

- RAE - Real Academia Española. (2020, Junio 14). *Real Academia Española*. Retrieved from Real Academia Española - Diccionario: <https://dle.rae.es/cemento?m=form>
- Reyes Lizcano, F. A. (2003). *Diseno Racional de Pavimentos*. Bogota, Colombia: Centro Editorial Javeriano.
- Sanjuán Barbudo, M. A., & Chinchón Yepes, S. (2004). *Introducción a la fabricación y normalización del Cemento Portland*. Publicacions Universitat Alacant. Retrieved from *Introducción a la fabricación y normalización del cemento Portland*: <https://www21.ucsg.edu.ec:2653/en/ereader/ucsg/116046?page=154>
- Shell International Petroleum Company Limited . (1978). *Shell Pavement Design Manual - Asphalt Pavements and Overlays for Road Traffic*. Londres: Shell International Petroleum Company Limited .
- Vila, R. (2019). *Diseno de pavimentos rigidos según la PCA 84 (Diapositiva de power point)* . Recuperado de: <file:///C:/Users/User/Downloads/Clase%2013.%20Dise%C3%B1o%20rigido%20PCA.pdf>

Anexos

Material Grouping	Preferred Pavement Base Construction Material		Material Equivalence Factor (MEF)	
Hydraulically Bound Mixtures	Material strength	Relevant Standard		
	<i>C_{1.5/2.0}</i>	<i>to BS EN 14227-1</i>	1.74	
	<i>C_{3/4}</i>	<i>to BS EN 14227-1</i>	1.38	
	<i>C_{5/6}</i>	<i>to BS EN 14227-1</i>	1.16	
	C_{8/10}	to BS EN 14227-1	1.00	
	<i>C_{12/15}</i>	<i>to BS EN 14227-1</i>	0.87	
	<i>C_{16/20}</i>	<i>to BS EN 14227-1</i>	0.79	
	<i>C_{20/25}</i>	<i>to BS EN 14227-1</i>	0.74	
	<i>C_{1.5/2.0}</i>	<i>to BS EN 14227-2&3</i>	1.74	
	<i>C_{3/4}</i>	<i>to BS EN 14227-2&3</i>	1.38	
	<i>C_{5/6}</i>	<i>to BS EN 14227-2&3</i>	1.10	
	<i>C_{8/12}</i>	<i>to BS EN 14227-2&3</i>	0.95	
	<i>C_{12/16}</i>	<i>to BS EN 14227-2&3</i>	0.85	
	<i>C_{15/20}</i>	<i>to BS EN 14227-2&3</i>	0.79	
	<i>C_{18/24}</i>	<i>to BS EN 14227-2&3</i>	0.76	
	<i>C_{21/28}</i>	<i>to BS EN 14227-2&3</i>	0.72	
	<i>C_{24/32}</i>	<i>to BS EN 14227-2&3</i>	0.68	
	<i>C_{27/36}</i>	<i>to BS EN 14227-2&3</i>	0.63	
	Concrete	C8/10	to BS8500-1	1.00
		<i>C12/15</i>	<i>to BS 8500-1</i>	0.87
<i>C16/20</i>		<i>to BS 8500-1</i>	0.79	
<i>C20/25</i>		<i>to BS 8500-1</i>	0.74	
<i>C25/30</i>		<i>to BS 8500-1</i>	0.65	
<i>C25/30</i>		<i>to BS 8500-1 including 20kg/m³ steel fibre</i>	0.60	
<i>C25/30</i>		<i>to BS 8500-1 including 30kg/m³ steel fibre</i>	0.55	
<i>C25/30</i>		<i>to BS 8500-1 including 40kg/m³ steel fibre</i>	0.50	
<i>C28/35</i>		<i>to BS 8500-1</i>	0.62	
<i>C32/40</i>		<i>to BS 8500-1</i>	0.60	
<i>C32/40</i>		<i>to BS 8500-1 including 20kg/m³ steel fibre</i>	0.55	
<i>C32/40</i>		<i>to BS 8500-1 including 30kg/m³ steel fibre</i>	0.50	
<i>C32/40</i>		<i>to BS 8500-1 including 40kg/m³ steel fibre</i>	0.45	
<i>C35/45</i>		<i>to BS 8500-1</i>	0.58	

Tabla 18 Factores de Equivalencia de Materiales para diferentes materiales.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	Hormigón Lean Concrete			UNIDAD DE MEDIDA:	m3
DETALLE:	f'c 8 MPa		RENDIMIENTO	(horas/un) (un/hora)	0,5714 1,75
EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIEN TO	COSTO
DESCRIPCIÓN	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Concreteira	1,00	6,25	6,25	0,5714	3,57
Vibrador	1,00	4,06	4,06	0,5714	2,32
SUBTOTAL M:					5,89
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIEN TO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Albañil (Categoría III)	3,00	3,65	10,95	0,5714	6,26
Maestro de Obra (Categoría IV)	1,00	4,04	4,04	0,5714	2,31
Peón (Categoría I)	12,00	3,60	43,20	0,5714	24,69
SUBTOTAL N:					33,25
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	185,00	0,1600	29,60	
Piedra No. 67	Kg	1080,00	0,0244	26,33	
Arena Natural de Rio	Kg	853,00	0,0108	9,17	
Agua	Kg	182,00	0,0100	1,82	
Sika Plast 5012	Kg	3,15	5,0000	15,75	
Encofrado Auxiliar	Kg	1,00	15,0000	15,00	
SUBTOTAL O:					97,66
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P:					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P):					136,81
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 0,00%					0,00
Utilidad %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					136,81
VALOR OFERTADO m3					\$ 136,81

Tabla 19 APU Lean concrete

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	ADOQUINADO PORTUARIO f'c 55 Mpa				
DETALLE:	Adoquín e = 10 cm	UNIDAD DE MEDIDA:		m2	
	f'c 55 Mpa	RENDIMIENTO		(horas/un)	0,4000
				(un/hora)	2,50
EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCION	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta manual (5% MO)	1,00	0,23	0,23	0,4000	0,09
SUBTOT AL M:					0,09
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Albañil (Categoría III)	1,00	3,65	3,65	0,4000	1,46
Maestro de Obra (Categoría IV)	1,00	4,04	4,04	0,4000	1,62
Peón (Categoría I)	2,00	3,60	7,20	0,4000	2,88
SUBTOT AL N:					5,96
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Mortero Cemento: Arena	m3	0,003	80,00	0,24	
Adoquín Portuario e = 10 cm f'c 55 Mpa	m2	1,0000	15,00	15,00	
SUBTOT AL O:					15,24
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOT AL P:					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P):					21,29
INDIRECTOS Y UTILIDADES:					0,00
Utilidad %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					21,29
VALOR OFERTADO m3					\$ 21,29

Tabla 20 APUS adoquín Portuario

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	Base Clase 1		UNIDAD DE MEDIDA:	m3	
DETALLE:	Acorde MTOP		RENDIMIENTO	(horas/un)	0,0149
			(un/hora)		67
EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCION	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Motoniveladora 140 HP	1,00	56,00	56,00	0,0149	0,84
Rodillo Compactador	1,00	30,00	30,00	0,0149	0,45
Camión Cisterna de 2000 galones	1,00	26,53	26,53	0,0149	0,40
SUBTOTAL M:					1,68
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
C1(G1) Operador motoniveladora	1,00	4,04	4,04	0,0149	0,06
C2(G2) Operador rodillo	1,00	3,85	3,85	0,0149	0,06
Chofer: Tanqueros (Estr.Oc.C1)	1,00	5,29	5,29	0,0149	0,08
Maestro de Obra (Categoría IV)	1,00	4,04	4,04	0,0149	0,06
Peón (Categoría I)	4,00	3,60	14,40	0,0149	0,21
SUBTOTAL N:					0,47
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Base Granular Clase 1	m3	1,30	14,72	19,14	
SUBTOTAL O:					19,14
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P:					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P):					21,29
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 0,00%					0,00
Utilidad %					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					21,29
VALOR OFERTADO m3					\$ 21,29

Tabla 21 APUS Base Clase 1

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
--------------------------------------	--	--	--	--	--

RUBRO:	Base Estabilizada con Cemento (e = 20cm)	UNIDAD DE MEDIDA::	m3
DETALLE:	fc 25 kg/cm2	RENDIMIENTO (horas/un) (un/hora)	0,0114 88

EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCIÓN	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta manual (5% MO)					
Recuperadora de suelos WR2500	1,00	120,00	120,00	0,0114	1,37
Motoniveladora 140 HP	1,00	56,00	56,00	0,0114	0,64
Rodillo Vibratorio liso 142 HP	0,50	30,00	15,00	0,0114	0,17
Camión Cisterna de 2000 galones	4,00	26,53	106,12	0,0114	1,21
Equipo Adicional Colocación cemento	1,00	40,00	40,00	0,0114	0,46
Cargadora sobre ruedas	1,00	35,20	35,20	0,0114	0,40
SUBTOTAL M:					4,26

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
C1(G1) Operador motoniveladora	1,00	4,04	4,04	0,0114	0,05
C2(G2) Operador rodillo	1,00	3,85	3,85	0,0114	0,04
Chofer: Tanqueros (Estr.Oc.C1)	4,00	5,29	21,16	0,0114	0,24
Engrasador o abastecedor	0,00	3,65	0,00	0,0114	0,00
E2 Peón	1,00	3,60	3,60	0,0114	0,04
Personal Adicional Colocación cemento					
E2 Peón	10,00	3,60	36,00	0,0114	0,41
SUBTOTAL N:					0,78

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Base granular Clase 1 (mat)	M3	1,25	14,72	18,40
Cemento Base Vial Tipo MH (Incluye transporte)	Ton	2,000	6,59	13,18
SUBTOTAL O:				31,58

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		A	B	C=A*B
Transporte de Base Estabilizada Premezclada	\$/m3	0,00	0,25	0,00

SUBTOTAL P:				0,00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P):				36,62
INDIRECTOS Y UTILIDADES:				0,00
Utilidad %				0,00%
UTILIDAD %				0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO				36,62
VALOR OFERTADO m3				\$ 36,62

Tabla 22 APUS Base cemento fc 25 kg

ENTREVISTA 1

Ing. Sergio Murillo

Presidente de la Asociación de Terminales Portuarios Privados del Ecuador (ASOTEP) y Vicepresidente Cámara Marítima del Ecuador.



1. ¿Cómo cree usted que será el desarrollo del sector portuario en Guayaquil en los próximos años, a raíz de la pandemia?

El Sistema portuario nacional viene realizando inversiones, tanto en sector concesionado como privado, de más de 800 millones de dólares en los últimos 10 años, a fin de adecuar sus infraestructuras para lo que fue la ampliación del canal de Panamá en 2016, lo que permite el tránsito de naves más grandes tanto en capacidad como calado en nuestra región. Esto sumado al dragado del canal de acceso a los puertos de Guayaquil ponen al sistema portuario de la ciudad con capacidad para absorber el crecimiento económico y de cargas de los próximos 20-25 años.

Las inversiones en infraestructura portuaria requieren estar anticipadas a las inversiones que realicen las navieras (barcos). Es por esto que la pandemia, suceso lamentable inesperado, definitivamente afectará las inversiones en el sector portuario que como indicado en el párrafo inicial, tiene suficiente capacidad para absorber el crecimiento de las cargas de los próximos 20-25 años.

2. ¿Cree usted que el desarrollo portuario actual en Guayaquil repercutirá en mayor cantidad de patios para manejo de contenedores en los próximos años? ¿podría darnos un estimado en metros cuadrados?

No se espera más desarrollo de patios de contenedores, al esperarse un estancamiento económico mundial para los próximos 2-3 años, además que

la capacidad instalada actual ya es suficiente para un crecimiento de volumen de los próximos 20-25 años.

- 3. ¿Tienen en su presupuesto anual una partida para mantenimiento de los pavimentos de los patios portuarios? ¿Lo estiman como un porcentaje referenciado a alguna variable?**

Los puertos utilizan mayoritariamente adoquines portuarios en sus patios. Este material es prácticamente de libre mantenimiento, salvo en casos de asentamientos que requieren rellenos y se usa el mismo adoquín.

- 4. ¿Tiene algún conocimiento sobre el uso de bases estabilizadas con cemento? ¿Si ha escuchado o las ha implementado en su puerto, podría darnos su sincera apreciación?**

Particularmente hemos usado bases estabilizadas de cemento en patios portuarios. Lamentablemente el resultado no es el esperado. Si bien como reemplazo de un patio de tierra la solución es eficiente, para uso intensivo en tránsito de contenedores y cabezales, es más aconsejable el uso de adoquín portuario.

ENTREVISTA 2

Ing. José Andrés Quinancela



Especialista Vial en Holcim Ecuador

1. ¿Qué características estructurales, de acuerdo a su experiencia, deberían tener los pavimentos de patios de contenedores en la ciudad de Guayaquil?

Lo que sucede normalmente en la ciudad de Guayaquil es que las zonas industriales o zonas portuarias van a tener materiales muy blandos en sus terrenos naturales o en sus subrasantes, quiere decir que su CBR serán muy bajos en cuanto al primer nivel de la estructura de pavimento, partiendo de esa premisa lo que casi siempre va a necesitar un diseño portuario para la estructura de pavimento como tal van a ser entre 1 o 2 metros de rellenos o cambios de suelos que probablemente sean manglares o materiales muy cercanos a esteros o brazos de mar o incluso en las zonas industriales como arroceras o de este tipo como en las zonas de duran Yaguachi, entonces partiendo de eso vamos a tener entre 1 o 2 metros de cambios de suelos o de material de mejoramiento, una capa de 30cm de sub base, una capa de 20cm de base y una carpeta de rodadura casi siempre flexible o semirrígida, es decir lo que propone o lo que se debería proponer en la tesis es 1 o 2m de material de relleno, entre 20 a 30cm de una base estabilizada con cemento que absorba la mayor cantidad de esfuerzos y distribuya las cargas de mejor manera y finalmente terminar en pavimentos rígidos con espesores tradicionales, pavimentos rígidos con losas cortas por ejemplo en la metodología TCP o a su vez con adoquines de alta resistencia básicamente esa es la estructura que requiere un diseño portuario en función de las cargas y la demanda de trafico vamos a distribuir de una u otra forma los espesores mediante el software de uso ALIZE

2. ¿Observa irregularidades o deficiencias con frecuencia en el estado del pavimento en los patios de contenedores? ¿si cree que si, podría indicarnos qué medidas como ente ustedes recomiendan para solucionarlo?

Definitivamente si , el diseño portuario requiere de un patio de maniobra para ingreso, carga y salida de transporte pesado pero normalmente estos se complementan con patios de contenedores quiere decir que a lo largo de toda la zona industrial y en lugares estratégicos de intercomunicación nacional van a ver centros logísticos donde van a tener patios de contenedores para almacenar, limpiar y distribuirlos, en estos patios hemos encontrado muchísimas irregularidades la principal es que casi siempre se desperdicia dineros y recursos en asfaltar estos pavimentos y en cuestión de 4 o 6 meses todo el asfalto se ve perdido por lo tanto la inversión también porque lo que normalmente hacen es lastrar y llenar de material de mejoramiento y casi siempre los patios no son propios son alquilados esto quiere decir que la menor inversión realizada va a ser para los dueños más convenientes pero termina haciendo un error porque ese material se va a perder y en presencia del agua en inviernos fuertes van a perderse por completo.

Recomendamos para estas situaciones, en la mayoría de los patios de contenedores debido a las dificultades que se presentan se han metido materiales de mejoramiento constantemente sometiendo a esta capa a un procedimiento de consolidación, la misma carga va a ir consolidando 1m 1.50m o 2 m de material que han ido rellinando, pero se ha ido asentando.

Esto permite que una alternativa muy viable para patios de contenedores sea reutilizar el material del sitio en la medida de lo posible programar que la última capa de relleno haya sido de una granulometría adecuada u optima, entre agregado grueso y fino con una correcta gradación, que nos permita reutilizar este material, un cascajo grueso no puede ser estabilizable y tampoco un mejoramiento con un IP mayor al 20 % , si hay un material de mejoramiento correctamente gradado se podrá estabilizarlo en 30 o 35cm con cemento Base Vial y finalmente poner la carpeta de rodadura que va a perdurar, porque la capacidad de soporte de la estabilización es la que va a absorber los esfuerzos esto quiere decir que la carpeta de rodadura en su defecto asfaltico va a poder quedar con mayor durabilidad.

3. ¿En qué medida o que parámetros de producción, cree usted que un mal estado del pavimento perjudica la operación en un patio de contenedores?

Definitivamente la perjudica en gran manera de forma significativa porque primero hay un exceso en los costos en mantenimiento del equipo de la flota de transporte más acelerados mantenimientos, mas acelerados cambios de amortiguador , neumáticos desgastados, perdidas en tiempos de circulación y entrega es decir cuánto tiempo demora en ingresar, cargar y salir un transporte entonces la eficiencia de esto en verano se reduce significativamente pero en invierno se colapsa porque dejan intransitable el patio de maniobra, esta es la afectación que es muy significativa cuando no se trata los patios de contenedores, por consecuente al tener deficientes patios de contenedores el rendimiento que se pueda realizar a este patio va a ser entre el 70 y 60% de su capacidad en comparación cuando está en buen estado.

4. ¿Tiene algún conocimiento sobre el uso de bases estabilizadas con cemento en patios portuarios? ¿Si ha escuchado o las ha implementado en su carrera, podría darnos su sincera apreciación?

Definitivamente si, las empresas más importantes de este sector de la industria tienen ya en sus especificaciones en diseños portuarios y de patios de contenedores la implementación de las bases estabilizadas con cemento porque el concepto técnico de la absorción de esfuerzos y distribución de carga es un concepto técnico ya dominado por los mejores especialistas y especificadores para este sector de la industria.

Entonces proyectos como el centro logístico de duran, en donde se conecta una operación que realiza el puerto de aguas profundas en Posorja donde también se utilizaron estabilizaciones u otros referentes a la industria como el grupo Torres & Torres todos sus patios al norte y sur de Guayaquil en toda su extensión tiene bases estabilizadas con cementos y adoquines de alta resistencia. otros de los proyectos realizados son los patios de CONTECOM ese y un sin números de patios que funcionan al sur de Guayaquil cerca del antiguo puerto de Guayaquil han trabajado con estabilizaciones, en cuanto

otros componentes de los patios de maniobra están los grupo de Citikold que tiene alrededor de 12 patios de maniobra en Guayaquil de los cuales dos de ellos ya tienen estabilizaciones y se proyecta para mas incluso ha exportado su operación a otros países como Perú o Panamá y también analiza el uso de esta alternativa.

Esto quiere decir como conclusión en todos los proyectos más importantes donde la inversión es muy alta se realiza proyectos estabilización. El parque industrial de Yaguachi que no solo tiene contenedores, sino que está previsto para que almacene cualquier tipo de cargas también cuenta con estabilizaciones.

Esto por mencionar alguno de los proyectos mayor inversión en donde se ha utilizado estabilizaciones como un concepto sumamente importante y que repercute en el presupuesto final del proyecto y de la vida útil del proyecto.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Baño Medina Evelyn Gissella**, con C.C: # **0925680787** autor/a del trabajo de titulación: ***Análisis Técnico - Financiero del Uso de Bases Estabilizadas con Cemento en Patios de Contenedores usando ALIZE: Caso Patios Cía. CITIKOLD*** previo a la obtención del título de **Ingeniero civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 10 de septiembre de 2020

f. _____

Nombre: **Baño Medina Evelyn Gissella**

C.C: **0925680787**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	<i>Análisis Técnico - Financiero del Uso de Bases Estabilizadas con Cemento en Patios de Contenedores usando ALIZE: Caso Patios Cía. CITIKOLD</i>		
AUTOR(ES)	Baño Medina Evelyn Gissella		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing Roberto Murillo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil.		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	10 de septiembre de 2020	No. DE PÁGINAS:	80
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ing vial, Pavimentos.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	base estabilizada con cemento, patios de contenedores, pavimentos, alize, adoquín, patios portuarios.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): En el presente trabajo de titulación se realizó un análisis Técnico - Financiero del Uso de Bases Estabilizadas con Cemento en Patios de Contenedores usando ALIZE: Caso Patios Cía. CITIKOLD, en donde se hizo un estudio sobre las bases estabilizadas con cemento, mencionando sus beneficios y aplicaciones. Se realizó un diseño de pavimento para los patios de contenedores mediante el Manual de Pavimentos de Servicio Pesado de las Asociaciones de Puertos Británicos y el software ALIZE para determinar esfuerzos y deformaciones de las capas del pavimento. Para poder constatar las ventajas financieras se realizó una comparación económica con 3 opciones de pavimento. La primera opción es de adoquín con lean concrete y base estabilizada con cemento, la segunda opción es de adoquín con lean concrete y base de material granular importado y la tercera opción con adoquín con base estabilizada cemento. Para esta comparación económica se realizaron los APU y los presupuestos de cada opción, con el fin de determinar la opción más rentable.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-994613773	E-mail: evelyngisela@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4 -2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			