

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Diseño de Pavimento Industrial para un Patio de Contenedores del  
Grupo TransEstiba

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO CIVIL**

Presentado por:

**MARÍA FERNANDA PÁEZ FAJARDO**

**BORYS ANDRÉS SALAZAR ORTEGA**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**Año: 2018**

## DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis padres Ing. Galo Páez e Ing. Sandra Fajardo por guiarme toda mi vida estudiantil, se merecen todo lo mejor del mundo por ser los mejores padres que Dios me pudo dar.

A mis hermanos Jaime Páez, Iván Páez y Halconcito Páez, por ser mi fuente de inspiración y apoyarme en cada ámbito de mi vida que los he necesitado, son los mejores.

A mis abuelos Humberto Fajardo, María Victoria Gracia y mi familia entera por brindarme su cariño incondicional y siempre estar para mí.

A mi compañero de tesis, mi enamorado y mejor amigo por haber sido mi compañero a lo largo de mi carrera universitaria y estar en todo momento.

María Fernanda Páez Fajardo

## DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis padres Jorge Luis Salazar Zamora y Nancy Paola Ortega López por todo el amor y dedicación para guiarme durante mi vida como estudiante.

A mis hermanos Luis Salazar, Milena Salazar y Ezzio Salazar, por apoyarme y estar ahí cuando los he necesitado.

A mis abuelos Mery Zamora, Norma López y Julio Ortega por ser fuente de motivación y cariño.

A mi familia entera y con especial mención a mi Tío Saúl y mi Tío Daniel quienes me apoyaron siempre en mis estudios.

A mi compañera de tesis, mi enamorada y mejor amiga por estar conmigo desde el inicio de la carrera hasta la culminación de la misma, por estar en todos los buenos y malos momentos.

Borys Andrés Salazar Ortega

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por fijar mi rumbo y darme la sabiduría para afrontar todos los retos que se me han presentado a lo largo de mis estudios.

A mi prestigiosa Universidad Espol por brindarme los mejores profesores que me han inculcado mis conocimientos y me han forjado como profesional.

Al PhD. Miguel Ángel Chávez por sus sabias enseñanzas y pasión por la carrera. A nuestra tutora la Ing. MSc. Carola Gordillo por acompañarme y guiarme a lo largo de la tesis, siendo abierta totalmente a brindarme sus conocimientos.

A los Ing. Xavier Arce, Cristian Valarezo y Henry Zambrano, por abrirme sus puertas en HOLCIM y colaborar en cada ámbito que he requerido.

Al Ing. Daniel Falquez por guiarme en todas las actividades realizadas en el Laboratorio de Suelos.

María Fernanda Páez Fajardo  
Borys Andrés Salazar Ortega

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; (*María Fernanda Páez Fajardo, Borys Andrés Salazar Ortega*) y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

---

María Fernanda Páez  
Fajardo

---

Borys Andrés Salazar  
Ortega

# EVALUADORES

---

**PhD. Miguel Ángel Chávez**  
PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Ing. Carola Gordillo MSc.**  
PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El presente proyecto comprende la realización de un diseño de pavimento industrial para el patio de contenedores del grupo TransEstiba. Este trabajo se realiza con la finalidad de solucionar los problemas de deformaciones que se producen en la superficie del terreno.

Como parte de los estudios se efectuaron las investigaciones geotécnicas de los suelos, a partir de lo cual se desarrollaron las metodologías para lograr una base estabilizada utilizando cemento y una Losa de Geometría Optimizada. Para los análisis se utilizaron dos programas: el programa Alize-LCPC para la base estabilizada con cemento, en tanto que para la Losa de Geometría Optimizada se utilizó el programa Optipave2.

Se propusieron dos soluciones de pavimentos: una de pavimento flexible con espesor de 3 pulgadas y dentro de su estructura una base clase 1 con 8% de cemento incorporado; la segunda de pavimento rígido con una losa de 23 centímetros de espesor y dentro sus capas una base estabilizada con cemento al 8%.

Finalmente, mediante varios criterios, se escogió el diseño del pavimento rígido con la Losa de Geometría Optimizada, debido a que es el más apto por las características de sus materiales y su desempeño para las actividades de un patio de contenedores.

**Palabras Clave:** Pavimento rígido, pavimento flexible, base estabilizada con cemento, Losa de Geometría Optimizada

## ***ABSTRACT***

In the current project, an industrial pavement is designed for the “TransEstiba” group’s sea container storing area. The industrial pavement is meant to deal with a soil surface deformation problem observed on the storing area surface due to the weight of containers' piles.

Part of the study was to investigate geotechnical properties of soil in this area. From these studies, procedures to achieve a stabilized basis were developed utilizing cement and thin concrete. The technical analyses were carried out using two software programs: Alize-LCPC for the stabilized basis with cement and Optipave2 for the thin concrete.

Two solutions to the initial problem are proposed. One is a 3-inch thick flexible pavement wherein its structure has a type one basis with 8% of incorporated cement. The second one is a 23-cm thick rigid pavement among whose layers there exists a stabilized basis with cement at 8%.

Finally, using different decision criteria, it is shown that the rigid pavement design with the thin concrete is suitable for coping with the surface deformation problem since its material characteristics and its performance makes this choice match a sea container storing area’s activities’ technical requirements.

**Keywords:** rigid pavement, flexible pavement, stabilized basis with cement, thin concrete

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	6
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
CAPÍTULO 1 .....	12
1.    Introducción .....	12
1.1    Descripción del problema .....	12
1.2    Justificación del problema.....	12
1.3    Objetivos.....	13
1.3.1    Objetivo General .....	13
1.3.2    Objetivos Específicos .....	13
1.4    Marco teórico .....	14
1.4.1    Base Estabilizada con Cemento .....	14
1.4.2    Método de Losa de Geometría Optimizada.....	15
CAPÍTULO 2.....	17
2.    Descripción del Área de Estudio .....	17
2.1    Ensayos de suelo .....	17
2.1.1    Ensayo de Granulometría (ASTM D421-85, 2007).....	20
2.1.2    Ensayo de Límites de Atterberg (ASTM D4318 - 10, 2010) .....	21
2.1.3    Ensayo de Próctor Modificado (AASHTO T – 180) .....	22

2.1.4	Ensayo de California Bearing Ratio CBR (ASTM D1883 - 16, 2016) .....	23
2.1.5	Ensayo de Abrasión de los Ángeles (ASTM C131 - 01, 2001) .....	24
CAPÍTULO 3 .....		26
3.	Metodología .....	26
3.1	Base Estabilizada con Cemento .....	26
3.1.1	Próctor Modificado (AASHTO T – 180): .....	28
3.1.2	Hormigón Compactado con rodillo en moldes de cilindros usando martillo vibrador (ASTM C1435 / C1435M, 2014): .....	28
3.1.3	Preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo de laboratorio (ASTM C192 / C192M, 2016): .....	28
3.1.4	Resistencia a la flexión de las vigas de hormigón (ASTM C78 / C78M, 2018):	28
3.1.5	Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto (ASTM C39 / C39M , 2018): .....	28
3.1.6	Diseño de Pavimento Flexible con Capa de Base Estabilizada con Cemento	29
3.2	Método de Losa de Geometría Optimizada .....	34
3.2.1	Parámetros .....	35
CAPÍTULO 4 .....		44
4.	Evaluación de impacto ambiental .....	44
4.1	Factores Ambientales .....	45
4.2	Matriz de magnitud .....	46
4.3	Impacto Ambiental Numérico .....	47
4.4	Significancia de afectación .....	48
CAPÍTULO 5 .....		51
5.	Resultados y Análisis .....	51
5.1	Resultados .....	51

5.1.1	Base Estabilizada con Cemento .....	51
5.1.2	Losa de Geometría Optimizada.....	55
5.2	Análisis de Resultados.....	59
5.2.1	Diseño de Pavimento Flexible .....	59
5.2.2	Diseño de Pavimento Rígido .....	60
5.2.3	Análisis de Costos.....	61
CAPÍTULO 6.....		63
6.	Conclusiones y Recomendaciones .....	63
6.1	Conclusiones .....	63
6.2	Recomendaciones .....	66
7.	Bibliografía .....	68
ANEXOS .....		71

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
AASHTO	American association of state highway and transportation officials
MTOP	Ministro de transporte y obras publicas
ACI	American Concrete Institute
FICT	Facultad de ingeniería en ciencias de la tierra
CBR	California Bearing ratio
ESAL	Equivalent single axle load
IRI	Índice de rugosidad internacional
APU	Análisis de Precios Unitarios
TN	Terreno natural

## SIMBOLOGÍA

mil	Milésima de pulgada
mg	Miligramo
m	Metro
MPa	Mega pascal
kN	Kilo newton
kg	Kilogramo
cm	Centímetro
$\mu$	Millonésimas
EpsT	Deformación por flexotracción en la capa análisis
SigmaT	Esfuerzo de flexotracción en la capa análisis
EpsZ	Deformación vertical en la capa análisis
SigmaZ	Esfuerzo vertical en la capa análisis

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Comparación entre losa estándar y Losa de Geometría Optimizada (Chile Patente nº 44820, 2007) .....	16
Figura 2.1 Vista en Planta del Patio TransEstiba.....	17
Figura 2.2 Vista Transversal Punto 1 .....	18
Figura 2.3 Vista Transversal Punto 2.....	18
Figura 2.4 Vista Transversal Punto 3.....	18
Figura 2.5 Vista Transversal Punto 4.....	19
Figura 2.6 Vista Transversal Punto 5.....	19
Figura 2.7 Secado de muestras al sol por 24 horas.....	20
Figura 2.8 Curva granulométrica de base granular.....	21
Figura 2.9 Pasante del tamiz 200 terreno natural .....	21
Figura 2.10 Límites de Atterberg base granular.....	22
Figura 2.11 Límites de Atterberg terreno natural .....	22
Figura 2.12 Porcentaje CBR base granular .....	24
Figura 2.13 Porcentaje CBR terreno natural.....	24
Figura 2.14 Porcentaje de desgaste .....	25
Figura 3.1 Correlación entre módulo resiliente y resistencia a la compresión para base cementada (AASHTO, 1993) .....	31
Figura 3.2 Correlaciones entre módulo resiliente y variables de resistencia (AASHTO, 1993).....	32
Figura 4.1 Cantidad de impactos ambientales rango.....	49
Figura 4.2 Gráfico de afectación al medio por cada factor.....	50
Figura 5.1 Curva de próctor modificado de base cementada al 5%.....	51
Figura 5.2 Curva de próctor modificado de base cementada al 8%.....	52
Figura 5.3 Diseño definitivo Base Cementada con Pavimento Flexible .....	54
Figura 5.4 Ingreso de datos proyecto en software OptiPave2 .....	55
Figura 5.5 Ingreso de parámetros de diseño .....	55
Figura 5.6 Ingreso de parámetros de tráfico .....	56
Figura 5.7 Ingreso parámetros de Hormigón .....	56

Figura 5.8 Ingreso parámetros de diseño de suelo.....	57
Figura 5.9 Ingreso parámetros de clima .....	57
Figura 5.10 Resultados de diseño software OptiPave2 .....	58
Figura 5.11 Diseño definitivo Metodología Losa de Geometría Optimizada .....	58
Figura 5.12 Comparación costos iniciales y finales de ejecución de los pavimentos.	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Humedad y peso volumétrico base granular.....	23
Tabla 2.2 Humedad y peso volumétrico terreno natural .....	23
Tabla 3.1 Granulometría de base cementada (MTOPI, 2002) .....	27
Tabla 3.2 Condiciones Actuales del Grupo TransEstiba.....	29
Tabla 3.3 Alcance del pavimento industrial del Grupo TransEstiba en 20 años de operación .....	29
Tabla 3.4 Proyección Tránsito Patio TransEstiba .....	30
Tabla 3.5 Elección de Módulos de Poisson para las capas (Benavides Bastidas & Chavarro Barreto, 1993) .....	32
Tabla 3.6 Tabla nacional de pesos y dimensiones de vehículos de carga pesada motorizados, remolques y semirremolques (MTOPI, 2016).....	36
Tabla 3.7 Tabla Nacional de peso bruto vehicular y dimensiones máximas permisibles en combinaciones (MTOPI, 2016) .....	37
Tabla 3.8 Tabla de factor de carril y factor direccional (AASHTO, 1993).....	38
Tabla 3.9 Factores de Equivalencia de Carga (AASHTO, 1993) .....	39
Tabla 3.10 Porcentaje de losas agrietadas recomendado (AASHTO, 1998) .....	41
Tabla 3.11 Tabla con gradientes térmicos equivalentes de construcción (AASHTO, 1993).....	43
Tabla 4.1 Factores Ambientales .....	45
Tabla 4.2 Matriz de Magnitud.....	46
Tabla 4.3 Matriz Impacto Ambiental Numérico .....	47
Tabla 4.4 Matriz de Significancia de afectación .....	48
Tabla 4.5 Tabla de categorización de impactos.....	49
Tabla 4.6 Porcentaje de afectación por factor .....	50
Tabla 5.1 Dosificación para realizar un cilindro y una viga al 5% y 8% .....	52
Tabla 5.2 Rotura a los 7 y 28 días de los cilindros al 5% de base cementada .....	53
Tabla 5.3 Rotura a los 7 y 28 días de los cilindros al 8% de base cementada .....	53
Tabla 5.4 Rotura a los 7 días viga al 5% base cementada .....	53
Tabla 5.5 Rotura a los 7 días viga al 8% base cementada .....	53

Tabla 5.6 Diseño definitivo de Base Cementada con Pavimento Flexible diseñado en el software ALIZE-LCPC .....	54
Tabla 5.7 Costo de realización de pavimento flexible .....	61
Tabla 5.8 Costo de realización de pavimento rígido .....	61

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción del problema

Grupo TransEstiba Holding es una empresa que inició en 1986 la cual está dedicada al almacenamiento y transporte de cargas, la zona donde apilan los contenedores está ubicado en un patio portuario en el km. 26, Vía Perimetral. En este patio llegan los contenedores provenientes del puerto de Guayaquil para empresas como Mabe, Adelka, Panasa, Teka.

Inicialmente se colocaban los contenedores sobre el terreno natural, pero en el lugar existían problemas de inundación generado por las lluvias como desborde del agua sobre el terreno natural, acumulación de la misma, impedimento de la correcta circulación de la maquinaria. Al no haber un adecuado sistema de drenaje, la calidad del terreno in-situ se veía afectada lo cual no permitía las condiciones ideales para poder hacer uso de las maquinarias pesadas en el lugar.

Debido a este problema con la inundación, la empresa a finales del 2017, entre noviembre y diciembre, optó por una solución, la cual consistía en elevar el nivel del terreno donde se apilaban los contenedores, mediante la colocación de una capa de base granular de distinta granulometría y posteriormente compactándola de manera que quede un terreno uniforme.

En la actualidad se sigue trabajando sobre este material de base granular, sin embargo, éste no es el más adecuado para la actividad que se ejerce en el lugar, por lo que se analizará el problema para proponer un diseño de pavimento adecuado.

### 1.2 Justificación del problema

El terreno donde se apilan los contenedores está conformado por un material de base granular compuesta de distintas granulometrías de distinto origen. Se conoce

que no se ha realizado un estudio, el material pétreo fragmentado ha sido colocado artesanalmente.

Se constata que el patio tiene muchas irregularidades y deformaciones que afectan el tránsito de portacontenedores y montacargas por la distribución no uniforme de las cargas inducidas.

Por lo antes anotado se plantea realizar un diseño de pavimento para patio industrial que pueda soportar las cargas que la actividad requiera para su correcto funcionamiento. Se requiere que el patio debidamente adecuado tenga una vida útil no menor que 20 años, que pueda soportar hasta 4 contenedores apilados en columna además de las cargas del tráfico de los portacontenedores que ingresan y salen del patio conjuntamente del montacargas para contenedores.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Plantear una solución para afianzar el terreno del patio portuario TransEstiba mediante un diseño de pavimento industrial para garantizar un área de trabajo estable, mejorando las condiciones del entorno de los usuarios del área operativa.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Analizar el terreno en estudio para establecer los parámetros con los que se deberá diseñar.
2. Diseñar alternativas de pavimento industrial según la metodología de método losa de geometría optimizada y base estabilizada con cemento.
3. Evaluar el método más eficiente para las actividades que se realizan en el patio del Grupo TransEstiba y realizar una evaluación de impacto ambiental.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Base Estabilizada con Cemento**

Esta metodología de base estabilizada con cemento se obtiene de la mezcla de los materiales de la base granular o suelo, un porcentaje adecuado de agua y cemento, dicha unión provee una rigidez sensible, es decir, que podría funcionar como una losa ya que su mecanismo es de distribuir las cargas inducidas del tráfico sobre una superficie mayor y se adapta a las deformaciones evitando que se produzcan exceso de grietas. Además, tiene la característica de adaptarse a los agentes de humedad y temperatura del sitio. (Rocci, 1964)

Según Villacreses (2014) reportó que para el desarrollo del diseño de la base estabilizada con cemento es adecuado alcanzar una resistencia de 6MPa a los 7 días de edad desde el día de la compactación, debido a que es la mínima resistencia para que cumpla con los parámetros establecidos en ACI 230.1R (Report on Soil Cement) y ésta resistencia satisface las pruebas de ASTM D559 Standard Test Methods for Wetting and Drying Compacted Soil – Cement Mixtures que la misma otorga las mezclas cumplan los parámetros de durabilidad. (Villacreses, 2014)

Dellarossa (2013) concluyó que realizando una mezcla de base compuesta por grava limo-arenosa, agua y cemento al 2% de su peso se puede estabilizar y sirve para ser utilizado como base estructural de un camino de bajo tránsito y tiene el mismo comportamiento que una base triturada y al ser ensayo por pruebas de ensayo de fatiga se pudo demostrar que tiene mayor vida útil al soportar las cargas inducidas hasta 5 veces mayor. (Dellarossa, 2013)

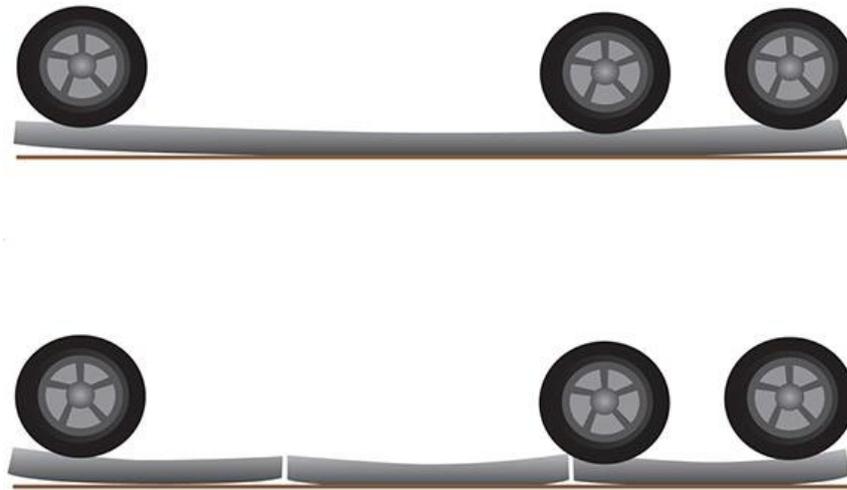
El departamento de Transporte del estado de Georgia analizó que el costo de construcción de una vía de 1,80 kilómetros de longitud y una recuperación de profundidad completa se redujo a un 42%. Bajando los pesos de las lecturas del equipo de deflexión que fueron tomadas después de la construcción indicaron que

las deflexiones se bajaron significativamente en el estudio de mayor profundidad que una sección de superposición. La vía mantiene un estado útil hasta un año después de uso. El departamento de transporte de Georgia considera desarrollar una especificación permanente para vías con base estabilizada con cemento sobre las rutas no estabilizadas. (Lewis, 2004)

Tayabji, S. & Nussbaum, P. (1982) realizaron un estudio para aplicar la metodología de base estabilizada con cemento en patio portuarios donde se requiere grandes cargas y encontraron que los espesores calculados para el diseño existente en el lugar eran mayores que los espesores recalculados con este método y desde que se ha implementado las bases han tenido un buen rendimiento. Concluyen que el presente diseño de base estabilizada con cemento es conservativo para las altas cargas estudiadas. (Tayabi & Nussbaum, 1982)

#### **1.4.2 Método de Losa de Geometría Optimizada**

El software TCPavements reportó que esta tecnología plantea losas con juntas más cercanas entre sí, con una geometría óptima, con la idea de que la distribución de cargas se reparta de mejor forma y así evitar problemas de agrietamiento. Por lo general, las dimensiones de una losa de pavimento tradicional que es diseñada con la AASHTO son de 4m de longitud y 3,5m de ancho y por ser de un área grande sucede que los esfuerzos ejercidos por los neumáticos gran parte de su carga será soportada por éstas, la tecnología de losas de geometría optimizada no se puede concentrar más de un grupo de neumáticos a la vez. (Chile Patente nº 44820, 2007)



**Figura 1.1 Comparación entre losa estándar y Losa de Geometría Optimizada (Chile Patente nº 44820, 2007)**

López y Uriarte (2013) concluyeron que el costo de una construcción de pavimentos de Losa de Geometría Optimizada y su tiempo de construcción es menor que un pavimento convencional y que al momento de su operación éste requiere menos intervenciones para mantener su servicio y genere menos costos para a los usuarios. Estos factores demuestran que esta tecnología de losas cortas es más económica y soporta cargas altas y es adecuada para ser utilizada en vías principales. (López & Uriarte, 2013)

Mendoza (2015) reportó que al momento de trabajar con la tecnología de losas de geometría optimizada se logra un alto rendimiento de colocación y una gran economía comparada con las losas tradicionales debido a que los espesores son menores y por ende el diseño es una gran alternativa para poder ser aplicado. A su vez demostró que las deformaciones en las losas cortas eran mayores que las losas convencionales por lo que sugiere trabajar con subbases más resistentes ya que para un pavimento convencional los esfuerzos son absorbidos por la losa, sin embargo, en una Losa de Geometría Optimizada se transfieren a la capa debajo de ella. (Mendoza, 2015)

# CAPÍTULO 2

## 2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1 Ensayos de suelo

El día 30 de junio se procedió a realizar las calicatas en el patio del grupo TransEstiba, se obtuvo material de 5 puntos distribuidos en el patio de tal forma que se encuentren lo más alejados posibles para poder clasificar el terreno del mismo.

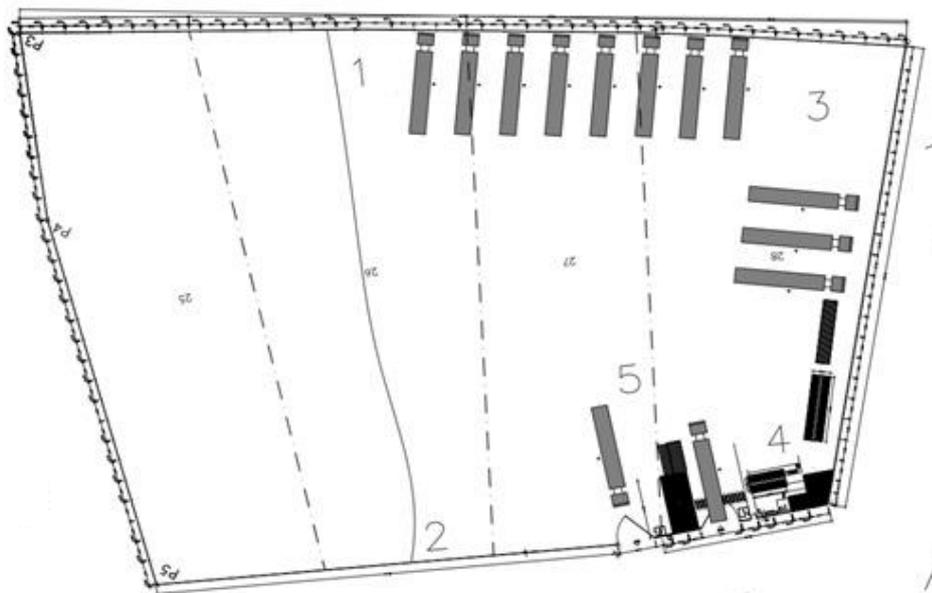
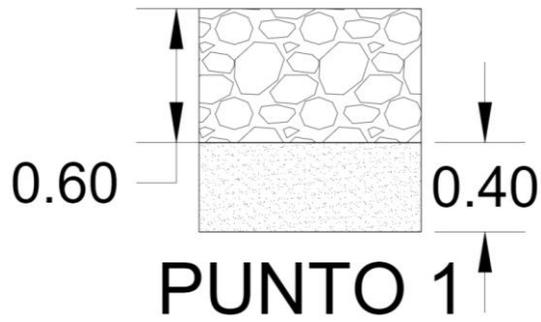


Figura 2.1 Vista en Planta del Patio TransEstiba

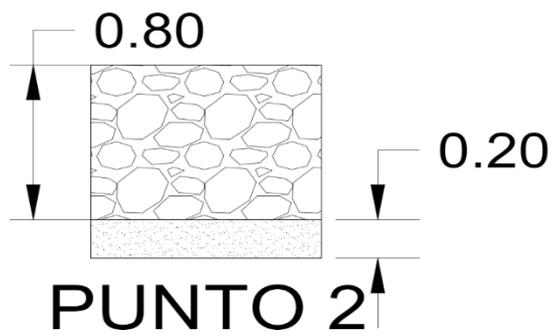
Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

Las calicatas se realizaron de 1 metro cuadrado de superficie y 1 metro de profundidad, dentro de las perforaciones se observa los estratos de los distintos tipos de suelo, se toma alturas y muestras del mismo. Las estratigrafías en los 5 puntos son mostradas a continuación:



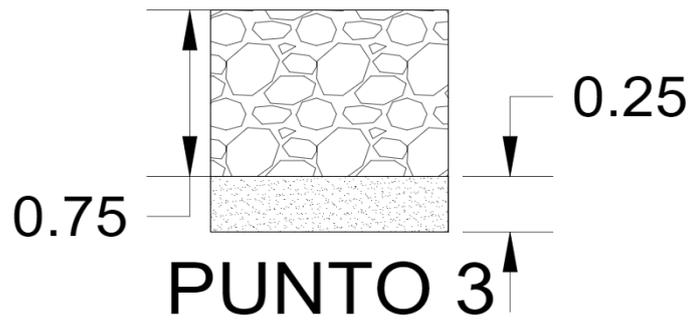
**Figura 2.2 Vista Transversal Punto 1**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018



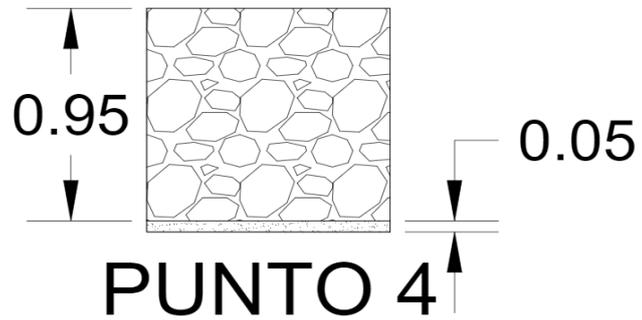
**Figura 2.3 Vista Transversal Punto 2**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018



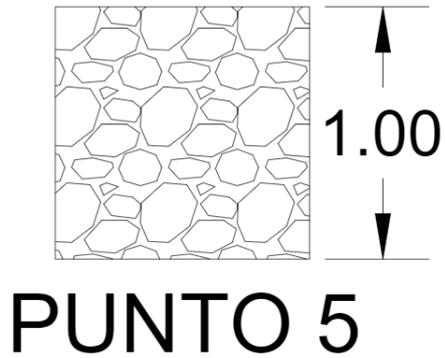
**Figura 2.4 Vista Transversal Punto 3**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018



**Figura 2.5 Vista Transversal Punto 4**

**Fuente:** Páez, M., Salazar, B. 2018



**Figura 2.6 Vista Transversal Punto 5**

**Fuente:** Páez, M., Salazar, B. 2018

Posteriormente a las calicatas se llevó las muestras al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias de la Tierra (FICT) – Espol y se colocó sobre lonas para secarlas al sol durante 24 horas.

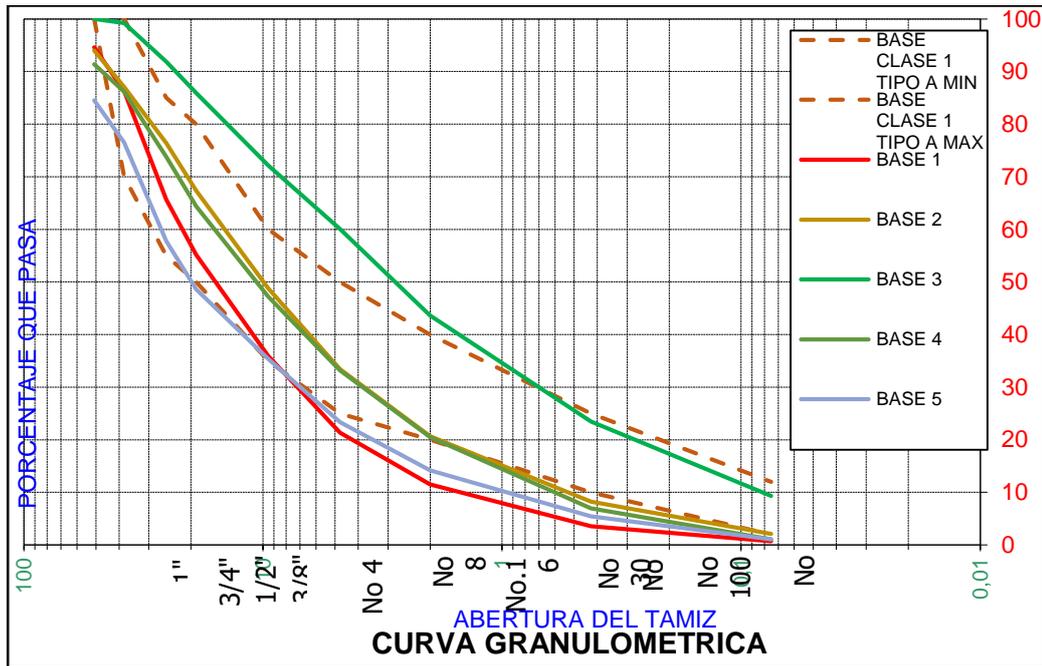


**Figura 2.7 Secado de muestras al sol por 24 horas**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

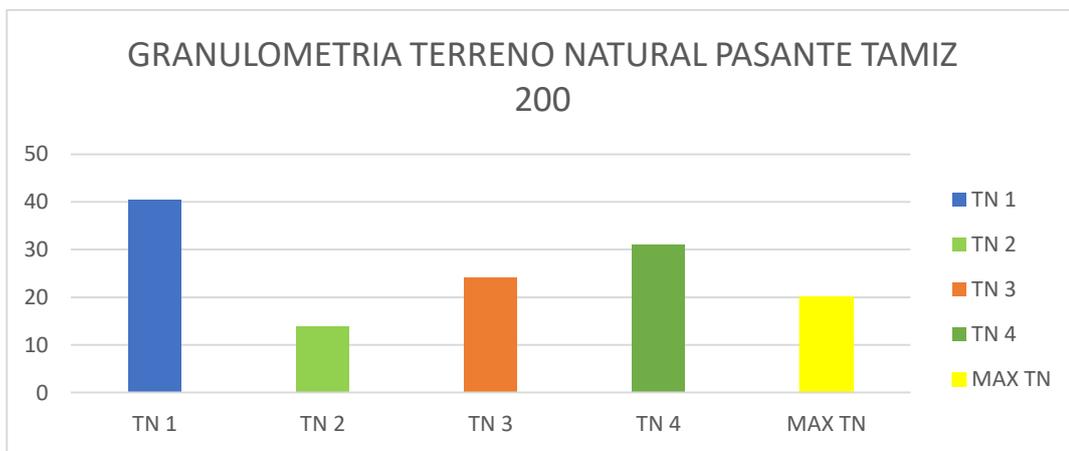
### **2.1.1 Ensayo de Granulometría (ASTM D421-85, 2007)**

Ensayo que se emplea para la clasificación, según la norma, del material del suelo de acuerdo al diámetro de las rocas con la finalidad de identificar su distribución de los distintos tamaños por medio del análisis de los tamices con aberturas mayores y menores progresivamente para agregado gruesos y finos.



**Figura 2.8 Curva granulométrica de base granular**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

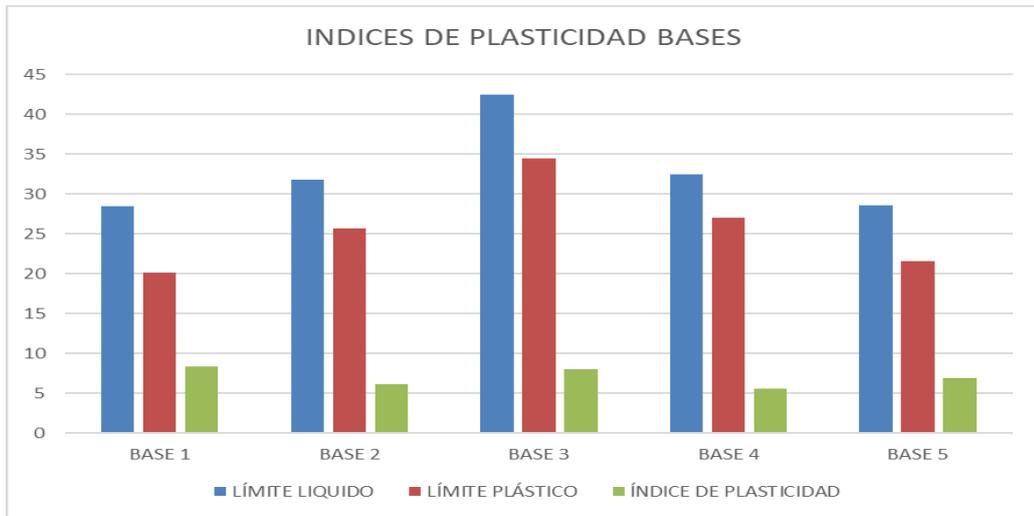


**Figura 2.9 Pasante del tamiz 200 terreno natural**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

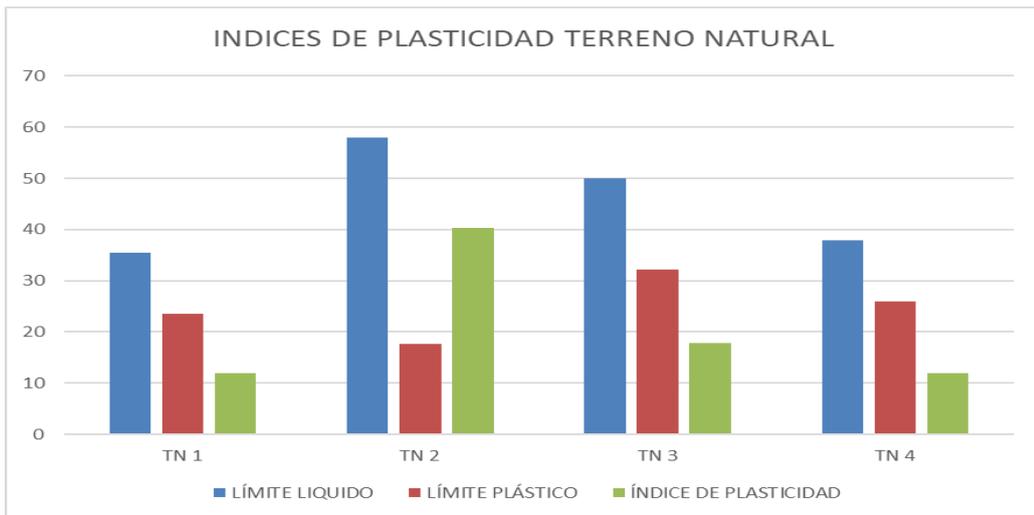
### 2.1.2 Ensayo de Límites de Atterberg (ASTM D4318 - 10, 2010)

Ensayo que se emplea al material de suelo de partículas finas para poder estudiar su comportamiento y su finalidad es encontrar su límite líquido, límite plástico e índice plástico.



**Figura 2.10 Límites de Atterberg base granular**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018



**Figura 2.11 Límites de Atterberg terreno natural**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

### 2.1.3 Ensayo de Próctor Modificado (AASHTO T – 180)

Ensayo que se emplea para obtener la humedad óptima del comportamiento del suelo relacionando una humedad variada con el peso volumétrico seco máximo de la muestra que ha sido compactada.

**Tabla 2.1 Humedad y peso volumétrico base granular**

	Humedad Óptima (W%)	Peso Volumétrico Seco (Kg/cm2)
Base 1	7,50	2040,00
Base 2	8,25	1990,00
Base 3	10,25	1864,00
Base 4	8,65	1990,00
Base 5	6,00	2070,00

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

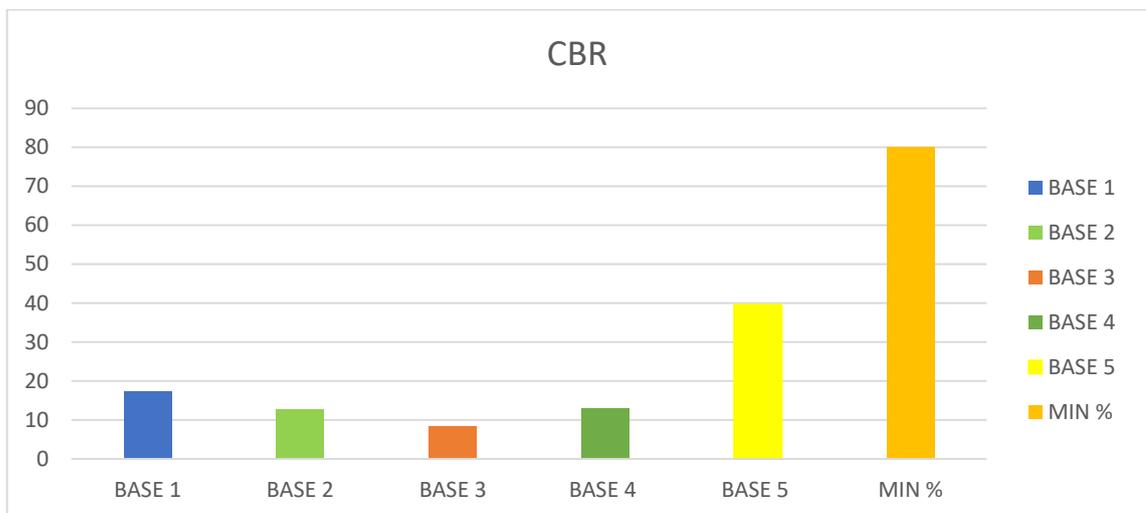
**Tabla 2.2 Humedad y peso volumétrico terreno natural**

	Humedad Óptima (W%)	Peso Volumétrico Seco (Kg/cm2)
Tn 1	11,00	1850,00
Tn 2	12,50	1765,00
Tn 3	13,90	1755,00
Tn 4	13,80	1695,00

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

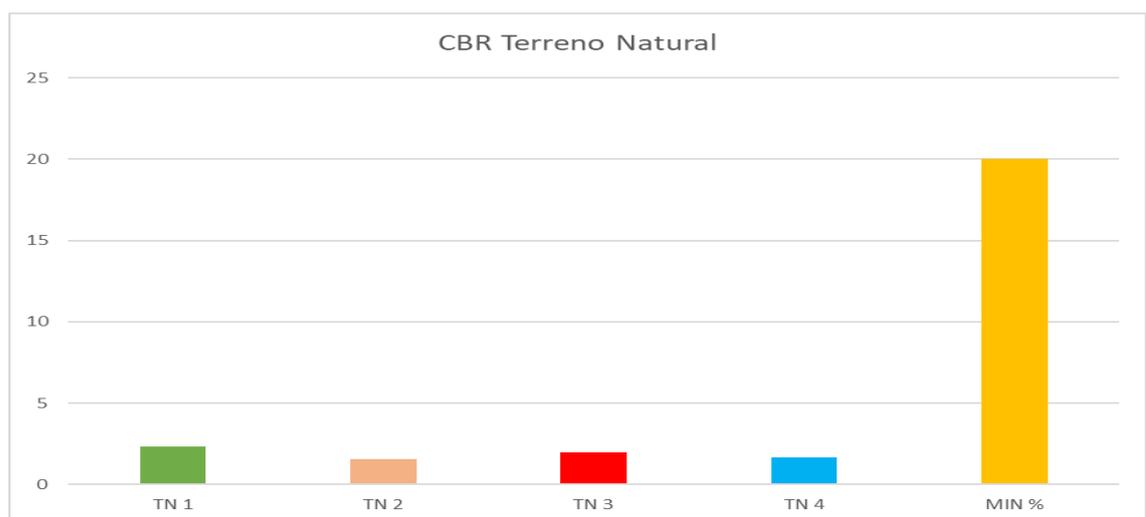
#### **2.1.4 Ensayo de California Bearing Ratio CBR (ASTM D1883 - 16, 2016)**

Ensayo que se emplea para conocer la capacidad portante de terrenos sometidos a cargas de compresión como capas de pavimento, terraplenes; este factor de capacidad es conocido como porcentaje de CBR.



**Figura 2.12 Porcentaje CBR base granular**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

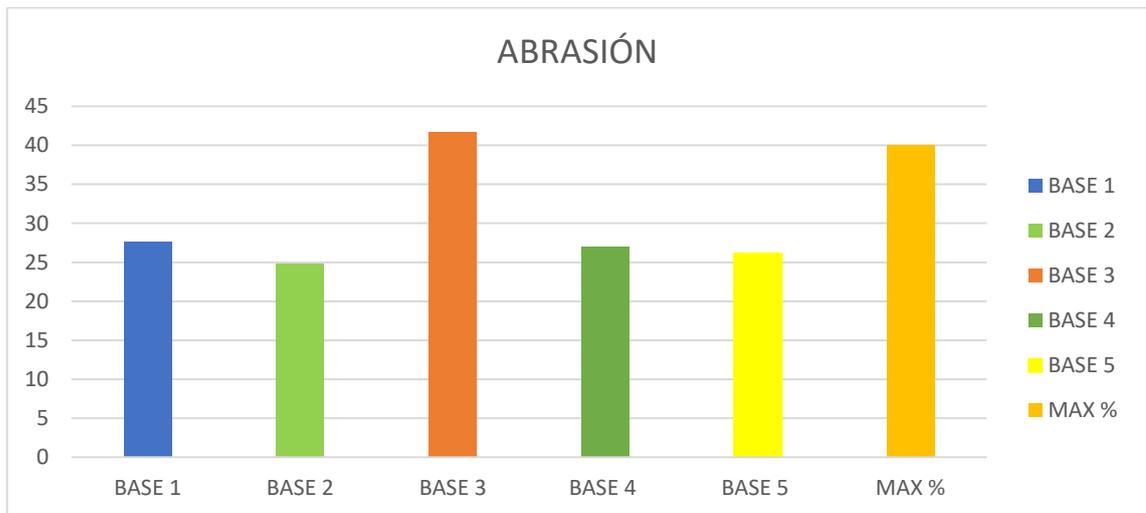


**Figura 2.13 Porcentaje CBR terreno natural**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

### 2.1.5 Ensayo de Abrasión de los Ángeles (ASTM C131 - 01, 2001)

Ensayo que se emplea para medir el desgastamiento de una muestra preparada de agregado grueso, debido al impacto y rozamiento dentro de un tambor con unas esferas de acero. La finalidad del ensayo es constatar la calidad de la resistencia del material.



**Figura 2.14 Porcentaje de desgaste**

**Fuente:** Páez, M., Salazar, B. 2018

# CAPÍTULO 3

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1 Base Estabilizada con Cemento

Una base que se le incorpora un porcentaje de cemento puede resultar en un material con mejores propiedades de resistencia mecánica, debido a las características del cemento. El cemento agregado al material de base puede mejorar propiedades como:

- Resistencia mecánica
- Resistencia a condiciones climáticas
- Índice de plasticidad
- Degradabilidad

La base estabilizada con cemento resulta en una opción más económica cuando es correctamente diseñada, ya que reduce espesores de las capas del pavimento, por la consolidación que logran los materiales obteniendo una rigidez alta lo que hace que las cargas se distribuyan en una mayor área reduciendo así los esfuerzos a las capas inferiores como subbase o subrasante. Otro aspecto económico que reduce es el acarreo de materiales a grandes distancias cuando en sitio el material existente no cumple con las especificaciones técnicas.

Para un correcto funcionamiento de la base estabilizada con cemento se debe tener en cuenta cuatro parámetros de mucha importancia como la óptima combinación del agregado, el agua, el cemento y la energía de compactación.

La granulometría cumple un papel fundamental para el diseño de la base estabilizada con cemento, el costo puede verse incrementado si en la base existe más cantidad de finos lo que es directamente proporcional al incremento en la cantidad de cemento, esto debido a que estos finos son los que más cemento necesitan para ligarse entre sí. Así mismo si existe una escasa cantidad de finos se vería afectada

la compactación entre el material granular grueso. La MTOP en su libro presenta la tabla 404-2.1 con la granulometría que debería cumplir una base que se le va a incorporar cemento.

**Tabla 3.1 Granulometría de base cementada (MTOP, 2002)**

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Agregado Grueso	Agregado Fino
<b>2" (50.8 mm)</b>	100	--
<b>1 1/2" (38.1 mm)</b>	95-100	--
<b>3/4" (19.0 mm)</b>	40-100	--
<b>N° 4 (4.76 mm)</b>	0-5	80-100
<b>N° 10 (2.00 mm)</b>	--	50-85
<b>N° 40 (0.425 mm)</b>	--	15-45
<b>N° 200 (0.075 mm)</b>	--	0-10

La energía de compactación es la que permite construir bases de alta resistencia, por eso es importante analizar en un laboratorio la capacidad de compactabilidad de los agregados ya que este factor varía entre las distintas clases. Una correcta energía de compactación asegura que los agregados se puedan ligar apropiadamente entre sí, incluso reduciendo el porcentaje de cemento a incorporar en la mezcla.

Para aplicar la metodología de base cementada primero se debe obtener los resultados de ensayos de suelo de los cinco puntos de calicatas tomados in-situ. Luego de analizar los resultados, se escoge el punto más desfavorable y se procede a estudiarlo mediante los ensayos nombrados a continuación.

Los ensayos se realizan al 5% y al 8% de cemento para poder obtener una curva de diseño y poder estudiar el comportamiento más adecuado de la cantidad de cemento conjuntamente con el material de base granular.

### **3.1.1 Próctor Modificado (AASHTO T – 180):**

Ensayo que se emplea para obtener la humedad óptima del material de la base junto con el cemento y poder estudiar su comportamiento.

### **3.1.2 Hormigón Compactado con rodillo en moldes de cilindros usando martillo vibrador (ASTM C1435 / C1435M, 2014):**

Ensayo que se emplea para obtener la resistencia del material de la base junto con el cemento, usando un martillo vibrador que permita la compactación adecuada del mismo.

### **3.1.3 Preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo de laboratorio (ASTM C192 / C192M, 2016):**

Ensayo que se emplea para medir la compresión y flexión máxima en la fibra superior e inferior respectivamente del material estudiado, usando un martillo vibrador que permita la compactación adecuada del mismo.

### **3.1.4 Resistencia a la flexión de las vigas de hormigón (ASTM C78 / C78M, 2018):**

Ensayo empleado para estudiar la resistencia máxima a la flexión del hormigón o del espécimen que se requiera con la finalidad de alcanzar la rotura y poder obtener su carga, esfuerzo y densidad.

### **3.1.5 Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto (ASTM C39 / C39M , 2018):**

Ensayo que se emplea para la obtención de la resistencia máxima a la compresión del hormigón. Se preparan cilindros con la misma dosificación y se realiza la rotura a los 7, 21 y 28 días para estudiar el incremento de la resistencia hasta alcanzar la rotura y obtener la carga, esfuerzo y densidad.

Posteriormente a los resultados de los ensayos se realiza el diseño de la metodología de base estabilizada con cemento partiendo que se va a trabajar con cuatro capas:

- Hormigón Asfáltico
- Base Cementada
- Base Granular
- Subrasante

### 3.1.6 Diseño de Pavimento Flexible con Capa de Base Estabilizada con Cemento

1. Evaluación del tránsito de diseño: Se va a diseñar un pavimento a 20 años de vida útil, según los datos otorgados por el Grupo TransEstiba actuales son:

**Tabla 3.2 Condiciones Actuales del Grupo TransEstiba**

Tránsito Máximo Diario	100 portacontenedores entre 3S2 y 3S3
Número de Contenedores Apilados	2
Cantidad Máxima de Contenedores	370

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

Se ha calculado un crecimiento del 2% para establecer el tránsito de diseño y el alcance del Patio de la empresa para el tiempo de retorno serán los siguientes:

**Tabla 3.3 Alcance del pavimento industrial del Grupo TransEstiba en 20 años de operación**

Tránsito Máximo Diario	200 portacontenedores entre 3S2 y 3S3
Número de Contenedores Apilados	4
Cantidad Máxima de Contenedores	740

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

Se realizó el incremento anual espero del tránsito para partir de ello poder obtener el eje equivalente que es el tráfico de diseño con el que se va a trabajar en esta metodología.

**Tabla 3.4 Proyección Tránsito Patio TransEstiba**

Incremento Anual	Tránsito cargado 3S2	Tránsito cargado 3S3	Montacargas (GOLIAT)
1	40,00	60,00	100,00
2	42,11	63,16	105,26
3	44,33	66,32	110,64
4	46,55	69,47	116,02
5	48,77	72,63	121,40
6	50,99	75,79	126,78
7	53,22	78,95	132,16
8	55,44	82,11	137,54
9	57,66	85,26	142,92
10	59,88	88,42	148,30
11	62,11	91,58	153,68
12	64,33	94,74	159,06
13	66,55	97,89	164,44
14	68,77	101,05	169,82
15	70,99	104,21	175,20
16	73,22	107,37	180,58
17	75,44	110,53	185,96
18	77,66	113,68	191,35
19	79,88	116,84	196,73
20	80,00	120,00	200,00

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

2. Condiciones Climáticas y Regionales: El Patio del Grupo TransEstiba se encuentra en la ciudad de Guayaquil-Ecuador, en la región Costa, siendo una ciudad con alta humedad y en invierno alcanza temperaturas alrededor de 30°C.
3. Caracterización de Materiales: Estudios de suelos realizados previamente cuyos resultados se encuentran en el Capítulo 2.
4. Determinación de Módulos Resilientes:
  - Hormigón Asfáltico

Se va a diseñar con un Módulo de Rigidez de la carpeta asfáltica 2700MPa por motivo que según Vila (2017) reportó que un estudio a plantas que proporcionan

las mezclas asfálticas en caliente en la Región Costa, 2500MPa es el valor mínimo aceptable para el diseño y por el Método de Marshall a los 75 golpes el Módulo de Rigidez es de 2700MPa como valor promedio. (Vila Romaní, 2017)

- Base Cementada

Para obtener el Módulo de Rigidez de la base cementada se realizaron los ensayos con roturas de cilindros y vigas a compresión y tensión y se obtiene la resistencia a la compresión a los 7 días, se ingresa con éste dato como indica la figura 3.1 y arroja un Módulo a la Rigidez de 3500MPa.

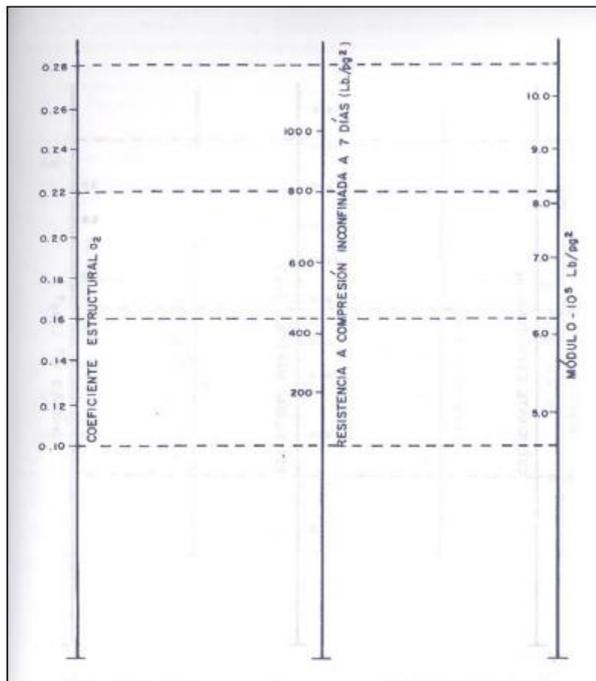


Figura 3.1 Correlación entre módulo resiliente y resistencia a la compresión para base cementada (AASHTO, 1993)

- Base Granular

Para el Módulo de Rigidez se trabajó con un ábaco de AASHTO 93 de correlación entre el valor mínimo de porcentaje de CBR de los 5 puntos analizados y con resultado cercano a 10% y el Módulo obteniendo como resultado 69MPa.

- Subrasante

Para obtener el módulo de rigidez de la subrasante se trabaja con los ensayos de CBR que se realizó a los 5 puntos y con los porcentajes de resultado se obtuvo que para un valor cercano a 3% el Módulo de Rigidez basado en el ábaco de la AASHTO 93 es 20MPa.

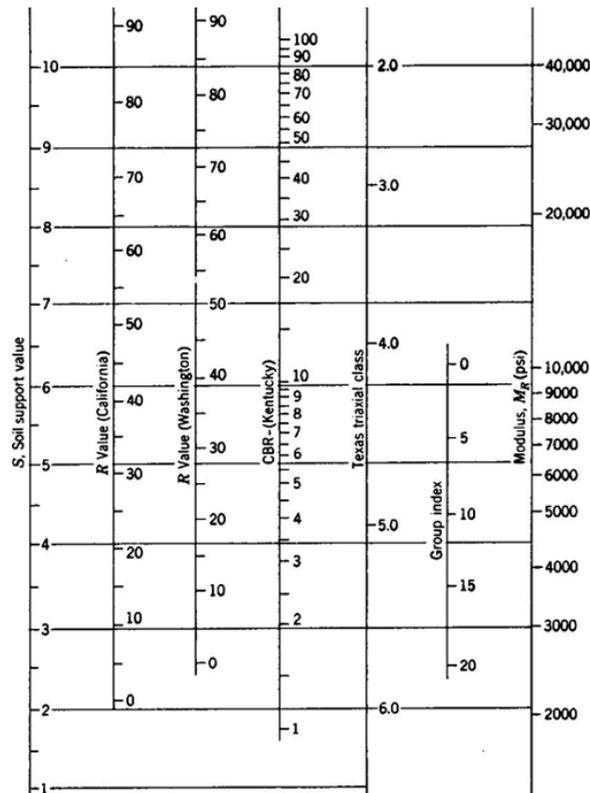


Figura 3.2 Correlaciones entre módulo resiliente y variables de resistencia (AASHTO, 1993)

5. Módulos de Poisson:

Tabla 3.5 Elección de Módulos de Poisson para las capas (Benavides Bastidas & Chavarro Barreto, 1993)

Material	Rango	Valor Asumido
Concreto Asfáltico	0.35 – 0.40	0.35
Base Granular tratada con cemento	0.20 – 0.35	0.25
Base Granular o Subbase	0.35 – 0.40	0.35
Suelos Finos	0.30 – 0.50	0.35

6. Modelación de la Estructura: Primero se define el tipo de tránsito con el que se va a trabajar, en este caso sería el Montacargas ya que es el que genera mayores daños en la estructura. Se ingresa el tipo de vehículo, diámetro de neumático y presión de inflado. Luego en la tabla que se va a correr el programa se ingresa las cuatro capas con su Módulo Resiliente, Coeficientes de Poisson y finalmente se asumen espesores de capas.
7. Cálculo de Esfuerzos y Deformaciones: Se procede a calcular esfuerzos y deformaciones con el programa ALIZE-LCPC Software, el cual la empresa Holcim posee su licencia y son los encargados de manejo del mismo.
8. Verificación de esfuerzos y deformaciones: Se realiza un cálculo con el dato del eje equivalente, la resistencia máxima a la compresión que se obtiene de una interpolación entre la resistencia máxima a la compresión entre el 5% y 8%. Finalmente se realiza la comparación de los esfuerzos y deformaciones con los valores admisibles.

$$\frac{\sigma}{Mr} = 1 - \frac{\log(N)}{a} \quad (3.1)$$

- N: número de repeticiones de ejes equivalentes (8.2 Ton) para la falla.
- $\sigma$ : Tensión producida en la fibra inferior de la capa de grava-cemento por carga de eje equivalente de 8.2 Ton.
- Mr: Resistencia de ruptura por flexotracción.
- a: El coeficiente de ajuste que depende de 12 (suelo-cemento) o 15 (grava-cemento).

$$\epsilon_{zad} = 0.028 \times (N_{8.2Ton})^{-0.25} \times 1000000 \quad (3.2)$$

- $\epsilon_{zad}$ =deformación unitaria a compresión admisible en la subrasante.
9. Diseño definitivo: Finalmente cuando se obtiene resultados favorables con los parámetros establecidos anteriormente se define el diseño definitivo de la metodología de base estabilizada con cemento.

### **3.2 Método de Losa de Geometría Optimizada**

La Losa de Geometría Optimizada es una alternativa de diseño para pavimento rígido, cuya tecnología se basa en la reducción de la distancia de las juntas para disminuir considerablemente las tensiones en cada losa. Se conoce que las tensiones dentro de la losa son las que definen el tiempo de vida útil del pavimento, ya que son estas las que producen un mayor agrietamiento, por lo que esta metodología prolonga la vida y provee una mayor tolerancia a las cargas de ejes.

En esta metodología los espesores del pavimento son menores debido a que a diferencia del pavimento tradicional que necesita de mayor espesor para reducir la incidencia de las cargas en la subbase o subrasante, en esta las cargas se distribuyen en más losas.

En el pavimento rígido la principal problemática es conocer la razón del agrietamiento que se puede dar por una de estas causas: tensión por la carga, tensión originada térmicamente, tensión por movimiento de la subrasante, tensión por alteración de la humedad.

El método mecanicista – empírico con el concepto básico de dimensionar las losas para que solo un set de ruedas pase por la losa, determinando el daño por fatiga que se dan en los puntos críticos para luego calcular los espesores óptimos según las condiciones presentes del suelo, pandeo, tránsito, clima, etc. Debido al uso de la Losa de Geometría Optimizada para aislar cada eje para una distinta losa se utiliza el eje estándar definido por AASHTO, y se calcula de la misma manera que para un pavimento tradicional.

Para el cálculo de espesor de Losa de Geometría Optimizada se va a trabajar con el software OptiPave2 (Chile Patente nº 44820, 2007). La licencia del mismo la obtiene la Ing. Carola Gordillo, tutora del proyecto, a través de HOLCIM.

### **3.2.1 Parámetros**

#### **3.2.1.1 Ejes Equivalentes**

##### 3.2.1.1.1 Tráfico

Debido al uso de la Losa de Geometría Optimizada para aislar cada eje para una distinta losa se utiliza el eje estándar definido por AASHTO, y se calcula de la misma manera que para un pavimento tradicional.

Se debe definir el tipo de vehículos que van a transitar por dicho pavimento para poder determinar la carga ejercida por cada eje de los vehículos, para lo cual se puede guiar de la tabla 3.2 y la tabla 3.3.

Tabla 3.6 Tabla nacional de pesos y dimensiones de vehículos de carga pesada motorizados, remolques y semirremolques (MTO, 2016)

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2 D			7	5,50	2,60	3,00
2DA			10	7,50	2,60	3,50
2DB			18	12,20	2,60	4,10
3-A			27	12,20	2,60	4,10
4-C			31	12,20	2,60	4,10
4-0 DCT OPU			34	12,20	2,60	4,10
V2DB			18	12,20	2,60	4,10
V3A			27	12,20	2,60	4,10
T2			18	8,50	2,60	4,10
T3			27	8,50	2,60	4,10
R2			14	10,00	2,60	4,10
R3			21	10,00	2,60	4,10
S1			11	13,20	2,60	4,10
S2			20	13,20	2,60	4,10
S3			24	13,20	2,60	4,10
B1			7	10,00	2,60	4,10
B2			14	10,00	2,60	4,10
B3			21	10,00	2,60	4,10

Tabla 3.7 Tabla Nacional de peso bruto vehicular y dimensiones máximas permisibles en combinaciones (MTO, 2016)

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO COMBINADO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2S1			29	20,50	2,60	4,30
2S2			38	20,50	2,60	4,30
2S3			42	20,50	2,60	4,30
3S1			38	20,50	2,60	4,30
3S2			47	20,50	2,60	4,30
*3S3			48	20,50	2,60	4,30
2R2			32	20,50	2,60	4,30
**2R3			39	20,50	2,60	4,30
*3R3			48	20,50	2,60	4,30
**3R2			41	20,50	2,60	4,30
2B1			25	20,50	2,60	4,30
2B2			32	20,50	2,60	4,30
2B3			39	20,50	2,60	4,30
3B1			34	20,50	2,60	4,30
3B2			41	20,50	2,60	4,30
3B3			48	20,50	2,60	4,30

### 3.2.1.1.2 Período de diseño

El período de diseño es el tiempo seleccionado en años en el que el pavimento va a trabajar sin problema alguno. Durante este período de tiempo se va a soportar las cargas ejercidas por la acumulación del tránsito vehicular, luego de este período se necesita realizar mantenimiento para tener en óptimas condiciones al pavimento.

### 3.2.1.1.3 Tasa de crecimiento

El pavimento debe ser calculado para poder soportar la demanda de tránsito que pueda existir con el pasar de los años, debido a esto es necesario calcular la tasa de crecimiento del paso vehicular.

$$Fca = \frac{(1+n)^n - 1}{r} \quad (3.3)$$

Donde:

r= tasa de crecimiento

n= periodo de diseño

### 3.2.1.1.4 Carril de diseño

El carril de diseño considera el número de carriles que tenga la calzada y el sentido de circulación de los vehículos.

**Tabla 3.8 Tabla de factor de carril y factor direccional (AASHTO, 1993)**

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor direccional (Fd)	Factor carril (Fc)	Factor ponderado
	1 sentido	1	1,00	1,00	1,00
	1 sentido	2	1,00	0,80	0,80
	1 sentido	3	1,00	0,60	0,60
	1 sentido	4	1,00	0,50	0,50
	2 sentidos	1	0,50	1,00	0,50
	2 sentidos	2	0,50	0,80	0,40
	2 sentidos	1	0,50	1,00	0,50
	2 sentidos	2	0,50	0,80	0,40
	2 sentidos	3	0,50	0,60	0,30
	2 sentidos	4	0,50	0,50	0,25

### 3.2.1.1.5 Cálculo de ESAL

El ESAL es un eje sencillo con dos ruedas a ambos lados, el cual es proveniente del volumen de tránsito en los cuales está involucrado el carril de diseño y el tránsito, lo que nos da un número determinado de ESAL. El ESAL tiene un peso aproximado de 18000 lb, 80 kN o 8.2 Ton.

### 3.2.1.1.6 Factor de Equivalencia de Carga

El factor de equivalencia de carga permite evaluar los daños que generan los distintos ejes simples en el pavimento, para lo cual se usa la tabla 3.8.

**Tabla 3.9 Factores de Equivalencia de Carga (AASHTO, 1993)**

Carga bruta por eje		Factores de equivalencia de carga		
kN	lb	Ejes Simples	Ejes Tándem	Ejes Tridem
4,450	1000,000	0,000		
8,900	2000,000	0,000		
17,800	4000,000	0,002	0,000	
26,700	6000,000	0,010	0,001	0,000
35,600	8000,000	0,034	0,003	0,001
44,500	10000,000	0,088	0,007	0,002
53,400	12000,000	0,189	0,014	0,003
62,300	14000,000	0,360	0,027	0,006
71,200	16000,000	0,623	0,047	0,011
80,000	18000,000	1,000	0,077	0,017
89,000	20000,000	1,510	0,121	0,027
97,900	22000,000	2,180	0,180	0,040
106,800	24000,000	3,030	0,260	0,057
115,600	26000,000	4,090	0,364	0,080
124,500	28000,000	5,390	0,495	0,109
133,400	30000,000	6,970	0,658	0,145
142,300	32000,000	8,880	0,857	0,191
151,200	34000,000	11,180	1,095	0,246
160,100	36000,000	13,930	1,380	0,313
169,000	38000,000	17,200	1,700	0,393
178,000	40000,000	21,080	2,080	0,487
187,000	42000,000	25,640	2,510	0,597
195,700	44000,000	31,000	3,000	0,723
204,500	46000,000	37,240	3,550	0,868
213,500	48000,000	44,500	4,170	1,033
222,400	50000,000	52,880	4,860	1,220
231,300	52000,000		5,630	1,430

240,200	54000,000		6,470	1,660
249,000	56000,000		7,410	1,910
258,000	58000,000		8,450	2,200
267,000	60000,000		9,590	2,510
275,000	62000,000		10,840	2,850
284,000	64000,000		12,220	3,220
293,500	66000,000		13,730	3,620
302,500	68000,000		15,380	4,050
311,500	70000,000		17,190	4,520
320,000	72000,000		19,160	5,030
329,000	74000,000		21,320	5,570
338,000	76000,000		23,660	6,150
347,000	78000,000		26,220	6,780
356,000	80000,000		29,000	7,450
364,700	82000,000		32,000	8,200
373,600	84000,000		35,300	8,900
382,500	86000,000		38,800	9,800
391,400	88000,000		42,600	10,600
400,300	90000,000		46,800	11,600

### 3.2.1.1.7 Factor Camión

Es caracterizado como factor camión al número de pasadas de un eje equivalente de 80kN promedio de un vehículo. El método más efectivo sería por pesaje, sin embargo, resulta costoso para obras de baja envergadura, por lo tanto lo más factible es trabajar con un FC de alguna vía con características similares o asumir un FC con método empírico.

### 3.2.1.1.8 Cálculo de número de Eje Equivalente

Para determinar un eje equivalente para un periodo de diseño específico que pasarán por aquel pavimento partiendo de un eje equivalente simple de 8,2Ton se requiere trabajar con la siguiente fórmula:

$$ESAL = \sum No. Vehículos * FC_{vehículo} \quad (3.4)$$

### 3.2.1.2 Largo de Losa

El pavimento de Losa de Geometría Optimizada se comporta de tal manera que se evita la producción de flexión debido a la combinación de cargas impuestas sobre la losa. Para generar esta condición se construyen las losas de manera continua y se realizan las juntas según lo estipulado en el diseño. Se debe tener en cuenta que el largo de losa se debe definir previo al diseño, considerando el criterio de un largo de 140 centímetros basado en que el eje tándem queda en losas distintas. El ancho de losa deberá de ser de 175 centímetros y debe considerar las condiciones de eje impuestas en el diseño.

### 3.2.1.3 IRI

El índice de rugosidad internacional es un parámetro que representa el confort del usuario en un vehículo ante la calidad de la superficie del pavimento. El IRI se mide en m/km y ronda entre 0-12, donde 0 es un camino perfectamente uniforme y 12 representa una superficie intransitable.

### 3.2.1.4 Porcentaje de losas agrietadas

Este parámetro representa el máximo porcentaje de daño que puede recibir las losas dentro de una confiabilidad dada, en la tabla 3.5 se pueden observar valores recomendados.

**Tabla 3.10 Porcentaje de losas agrietadas recomendado (AASHTO, 1998)**

<b>Clasificación de la vía</b>	<b>% Máximo de losas agrietadas</b>
Pasajes, calles locales y de servicio	50%
Vías colectoras y troncales (EE<15mm)	30%
Vías expresas, transporte público y especiales (EE>15 MM)	10%

### 3.2.1.5 Escalonamiento promedio

El escalonamiento promedio es un parámetro que indica la diferencia de nivel entre las losas, el cual a partir de los 20 centímetros de desnivel se deberá tomar

medidas de mantenimiento. Es importante corregir estos desniveles ya que puede generar erosión en estos espacios.

#### **3.2.1.6 Flexotracción**

La flexotracción es la capacidad del hormigón de resistir a la tracción por esfuerzos de flexión, la cual debe ser obtenida mediante ensayos al hormigón.

La (AASHTO, 1998) recomienda que los valores de flexotracción no deben ser menores a 4,8 MPa, además para la determinación de este valor en control de obra se puede usar una correlación entre la flexotracción y la resistencia a la compresión cilíndrica según la ecuación 3.2

$$f_c = f_t * 6.6 \quad (3.4)$$

- $f_c$ : Resistencia a la compresión cilíndrica
- $f_t$ : Resistencia a la flexotracción

#### **3.2.1.7 Módulo de elasticidad del hormigón**

El módulo de elasticidad del hormigón indica la capacidad de deformación del pavimento antes de que se genere agrietamiento.

Una vez que se tenga definido el valor de flexotracción, se puede hallar el valor del módulo a través de la ecuación 3.3 relacionando la resistencia a la compresión cilíndrica. Adicionalmente la (AASHTO, 1998) recomienda usar valores de 29000 MPa cuando no se tienen valores de módulo de elasticidad para el proyecto.

$$E_{c=4700} \sqrt{f_c} \quad (3.5)$$

- $E_c$ : Módulo de elasticidad del Hormigón

#### **3.2.1.8 Módulo resiliente subrasante**

El módulo resiliente es el esfuerzo repetido aplicado sobre el material en compresión triaxial el cual genera deformaciones que puedes recuperarse por sí mismo.

En la figura 3.1 se tiene un ábaco el cual correlaciona distintas variables de resistencia para hallar valores de módulo resiliente.

### 3.2.1.9 **Parámetros climáticos**

Estos son parámetros con respecto a datos climáticos de la zona donde se va a ejecutar el diseño, como lo son la temperatura promedio en invierno y temperatura promedio en verano; además también se considera la temperatura de fraguado del hormigón.

### 3.2.1.10 **Gradiente térmico equivalente**

El gradiente térmico equivalente representa los alabeos que se producen en el interior de la cosa producidos por orígenes térmicos hidráulicos y de construcción. Para lo cual se usa la ecuación 3.3

$$\Delta T^{\circ} = \Delta T^{\circ}c + \Delta T^{\circ}d \quad (3.3)$$

Donde:

$\Delta T^{\circ}$ = Gradiente térmico equivalente

$\Delta T^{\circ}c$ = Gradiente térmico equivalente de construcción

$\Delta T^{\circ}d$ = Gradiente térmico por variaciones de temperatura

Para el valor de gradiente térmico equivalente de construcción se recomienda usar los siguientes valores de la tabla 3.6

**Tabla 3.11 Tabla con gradientes térmicos equivalentes de construcción (AASHTO, 1993)**

Zonas	°C
Zonas húmedas sin viento	-5°C
Zonas húmedas con viento y zonas secas sin viento	-10°C
Zonas secas con viento y altura	-15°C
Condiciones extremas de evaporación de agua	-20°C

# CAPÍTULO 4

## 4. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Se realizó la evaluación de impacto ambiental para medir las afectaciones que podría causar las actividades durante las etapas de construcción, operación y abandono.

### **Etapas de construcción:**

- Preparación del material y terreno
- Colocación de base cementada
- Construcción del pavimento

### **Etapas de Operación:**

- Entrada y salida de camiones
- Apilación de contenedores

### **Etapas de Abandono:**

- Desmontaje de infraestructura
- Desalojo del terreno

A continuación, se muestran las tablas y gráficos con los resultados de las distintas evaluaciones de factores.

## 4.1 Factores Ambientales

Tabla 4.1 Factores Ambientales

FACTORES AMBIENTALES	Importancia						
	Construcción			Operación		Abandono	
	Preparación del material y terreno	Colocación de base cementada	Construcción del pavimento	Entrada y salida de camiones	Apilación de contenedores	Desmontaje de infraestructura	Desalojo del terreno
<b>1. Recurso Aire</b>							
Calidad del Aire Ambiente	8	6	7	8	6	6	7
Ruido Ambiente	8	8	9	8	8	8	6
<b>2. Recurso Agua</b>							
Calidad de Agua	0	5	5	0	0	5	5
Uso del Recurso Agua	7	7	7	6	6	7	0
<b>3. Recurso Suelo</b>							
Uso del Suelo	9	8	8	7	6	7	7
<b>4. Flora</b>							
Recurso Flora	7	6	0	0	4	0	0
<b>5. Fauna</b>							
Fauna Terrestre	4	4	0	0	4	0	0
<b>6. Socioeconómicos</b>							
Empleo	8	8	8	8	8	8	7
Aspectos Paisajísticos	5	5	7	5	7	5	6
<b>7. Seguridad Laboral y Salud Ocupacional</b>							
Seguridad Laboral y Salud Ocupacional	7	7	8	8	8	7	7

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

## 4.2 Matriz de magnitud

Tabla 4.2 Matriz de Magnitud

FACTORES AMBIENTALES	Construcción			Operación		Abandono	
	Preparación del material y terreno	Colocación de base cementada	Construcción del pavimento	Entrada y salida de camiones	Apilación de contenedores	Desmontaje de infraestructura	Desalojo del terreno
<b>1. Recurso Aire</b>							
Calidad del Aire Ambiente	-2.5	-0.4	-0.4	-2.5	-0.4	-0.4	-0.5
Ruido Ambiente	-3	-3	-3.5	-3.5	-3	-2	-0.4
<b>2. Recurso Agua</b>							
Calidad de Agua		-0.4	-0.4			-0.4	-0.4
Uso del Recurso Agua	-2	-2	-2	-0.5	-0.5	-2	
<b>3. Recurso Suelo</b>							
Uso del Suelo	-5	-2.5	-2.5	-3	-2	-2	-2
<b>4. Flora</b>							
Recurso Flora	-0.7	-0.4			-0.4		
<b>5. Fauna</b>							
Fauna Terrestre	-0.6	-0.4			-0.4		
<b>6. Socioeconómicos</b>							
Empleo	7	7	7	7	7	7	6
Aspectos Paisajísticos	-0.5	-0.5	-3.5	-0.4	-3	-0.4	-0.5
<b>7. Seguridad Laboral y Salud Ocupacional</b>							
Seguridad Laboral y Salud Ocupacional	-2	-2	-2.5	-3	-3	-0.5	-0.5

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

### 4.3 Impacto Ambiental Numérico

Tabla 4.3 Matriz Impacto Ambiental Numérico

Factores Ambientales	Construcción			Operación		Abandono		Sumatoria total por factor	% de afectación por factor
	Preparación del material y terreno	Colocación de base cementada	Construcción del pavimento	Entrada y salida de camiones	Apilación de contenedores	Desmontaje de infraestructura	Desalojo del terreno		
<b>1. Recurso Aire</b>									
Calidad del Aire Ambiente	-20.0	-2.4	-2.8	-20.0	-2.4	-2.4	-3.5	-53.5	-7.6
Ruido Ambiente	-24.0	-24.0	-31.5	-28.0	-24.0	-16.0	-2.4	-149.9	-21.4
<b>2. Recurso Agua</b>									
Calidad de Agua		-2.0	-2.0			-2.0	-2.0	-8.0	-2.0
Uso del Recurso Agua	-14.0	-14.0	-14.0	-3.0	-3.0	-14.0		-62.0	-10.3
<b>3. Recurso Suelo</b>									
Uso del Suelo	-45.0	-20.0	-20.0	-21.0	-12.0	-14.0	-14.0	-146.0	-20.9
<b>4. Flora</b>									
Recurso Flora	-4.9	-2.4			-1.6			-8.9	-3.0
<b>5. Fauna</b>									
Fauna Terrestre	-2.4	-1.6			-1.6			-5.6	-1.9
<b>6. Socioeconómicos</b>									
Empleo	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	42.0	378.0	54.0
Aspectos Paisajísticos	-2.5	-2.5	-24.5	-2.0	-21.0	-2.0	-3.0	-57.5	-8.2
<b>7. Seguridad Laboral y Salud Ocupacional</b>									
Seguridad Laboral y Salud Ocupacional	-14.0	-14.0	-20.0	-24.0	-24.0	-3.5	-3.5	-103.0	-14.7
<b>Sumatoria total por acción</b>	<b>-70.8</b>	<b>-26.9</b>	<b>-58.8</b>	<b>-42.0</b>	<b>-33.6</b>	<b>2.1</b>	<b>13.6</b>	<b>-216.4</b>	
% de afectación por actividad	<b>-1.22</b>	<b>-0.46</b>	<b>-1.01</b>	<b>-0.72</b>	<b>-0.58</b>	<b>0.04</b>	<b>0.23</b>	<b>Max de afectación</b>	<b>5800</b>
								<b>% de afectación</b>	<b>-3.7</b>

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

#### 4.4 Significancia de afectación

Tabla 4.4 Matriz de Significancia de afectación

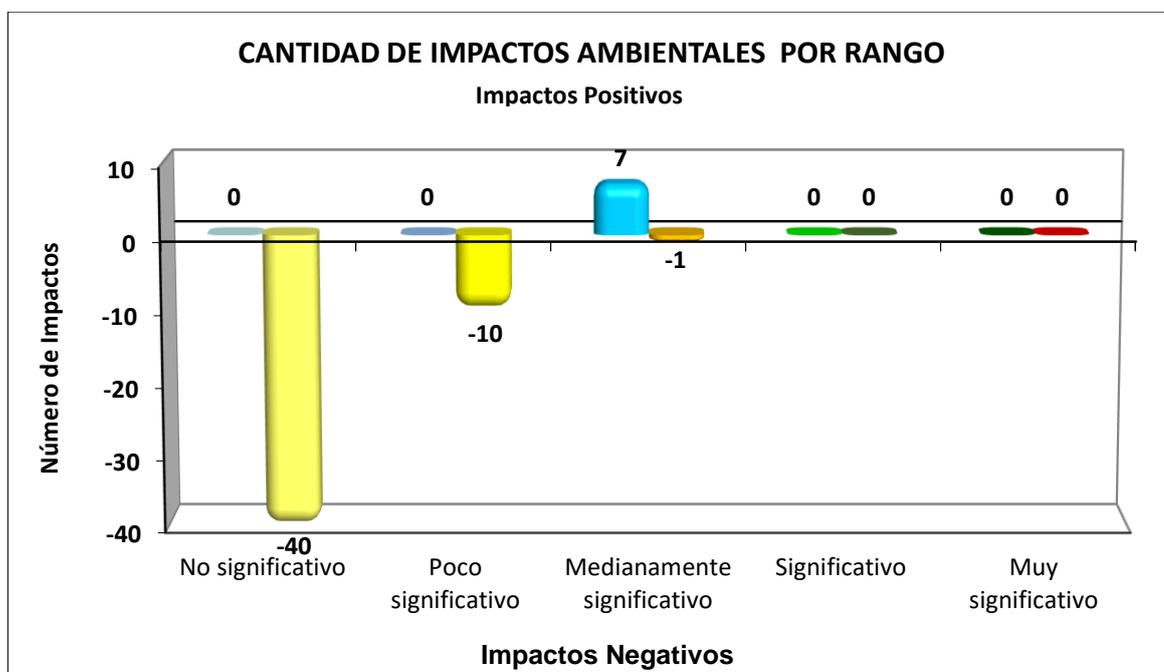
Factores Ambientales	Construcción			Operación		Abandono	
	Preparación del material y terreno	Colocación de base cementada	Construcción del pavimento	Entrada y salida de camiones	Apilación de contenedores	Desmontaje de infraestructura	Desalojo del terreno
<b>1. Recurso Aire</b>							
Calidad del Aire Ambiente	-A	-A	-A	-A	-A	-A	-A
Ruido Ambiente	-B	-B	-B	-B	-B	-A	-A
<b>2. Recurso Agua</b>							
Calidad de Agua		-A	-A			-A	-A
Uso del Recurso Agua	-A	-A	-A	-A	-A	-A	
<b>3. Recurso Suelo</b>							
Uso del Suelo	-C	-A	-A	-B	-A	-A	-A
<b>4. Flora</b>							
Recurso Flora	-A	-A			-A		
<b>5. Fauna</b>							
Fauna Terrestre	-A	-A			-A		
<b>6. Socioeconómicos</b>							
Empleo	+C	+C	+C	+C	+C	+C	+C
Aspectos Paisajísticos	-A	-A	-B	-A	-B	-A	-A
<b>7. Seguridad Laboral y Salud Ocupacional</b>							
Seguridad Laboral y Salud Ocupacional	-A	-A	-A	-B	-B	-A	-A

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

**Tabla 4.5 Tabla de categorización de impactos**

Rango	N.º de Impactos	Positivos	Negativos
No significativo	40	0	-40
Poco significativo	10	0	-10
Medianamente significativo	8	7	-1
Significativo	0	0	0
Muy significativo	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>58</b>	<b>7</b>	<b>51</b>

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018



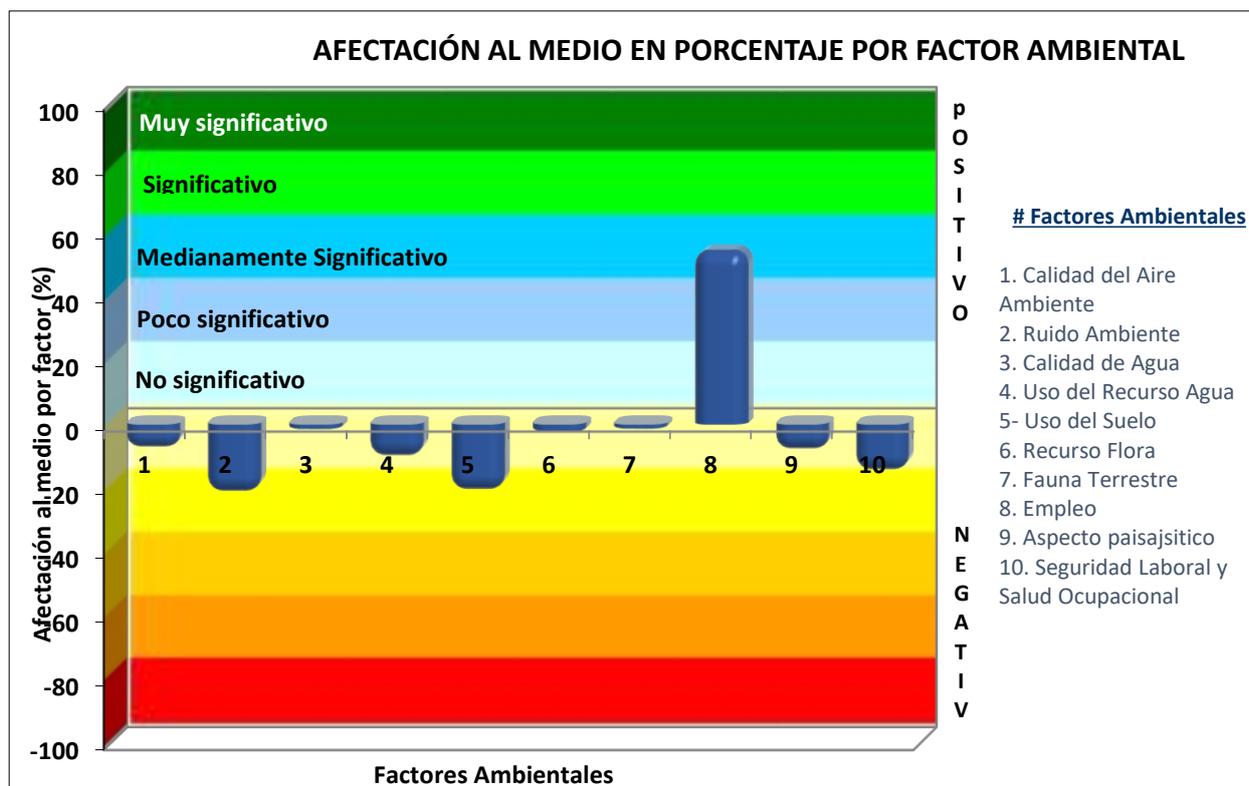
**Figura 4.1 Cantidad de impactos ambientales rango**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

**Tabla 4.6 Porcentaje de afectación por factor**

#	Factores Ambientales	% de afectación por factor
1	Calidad del Aire Ambiente	-8
2	Ruido Ambiente	-21
3	Calidad de Agua	-2
4	Uso del Recurso Agua	-10
5	Uso del Suelo	-21
6	Recurso Flora	-3
7	Fauna Terrestre	-2
8	Empleo	54
9	Aspectos Paisajísticos	-8
10	Seguridad Laboral y Salud Ocupacional	-15

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018



**Figura 4.2 Gráfico de afectación al medio por cada factor**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

# CAPÍTULO 5

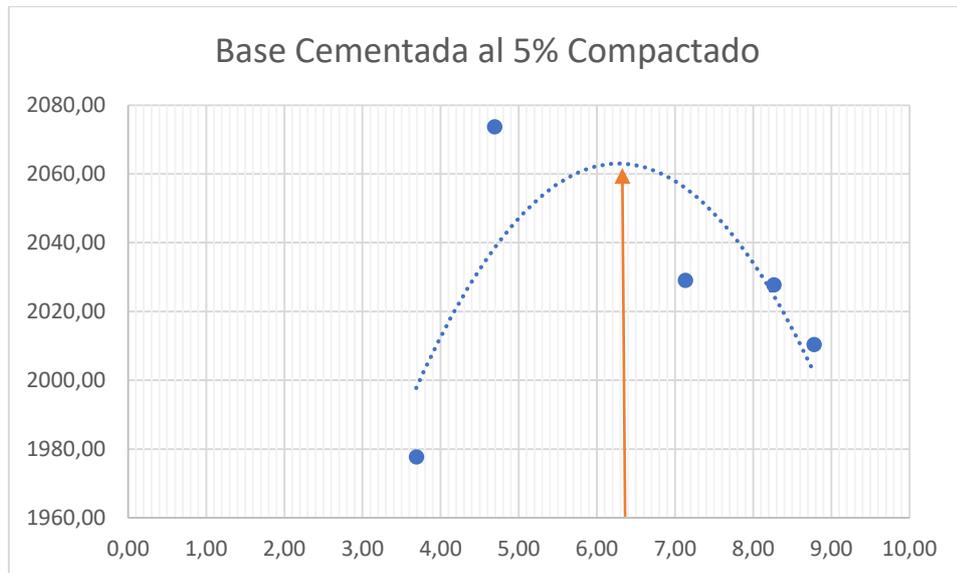
## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1 Resultados

#### 5.1.1 Base Estabilizada con Cemento

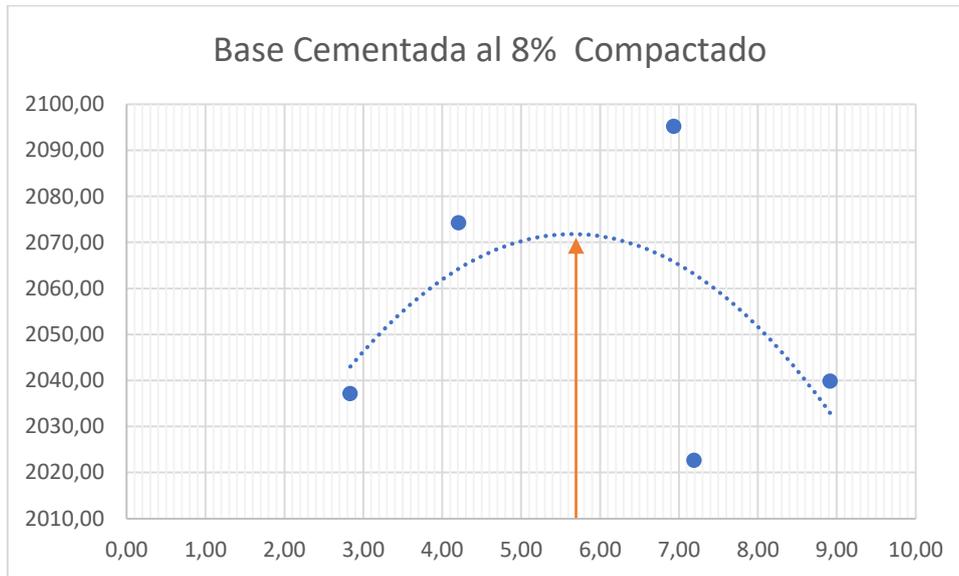
A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos de la dosificación de la base cementada y del diseño del pavimento.

Se escogió una muestra de base que presentaba los resultados con características deficientes para ofrecer una apropiada resistencia la cual se mezcló con una dosificación al 5% y al 8% de cemento Holcim Fuerte tipo GU. Se realizó los ensayos de Próctor Modificado (AASHTO T – 180) para obtener la humedad óptima de cada porcentaje de cemento.



**Figura 5.1** Curva de próctor modificado de base cementada al 5%

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018



**Figura 5.2 Curva de próctor modificado de base cementada al 8%**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

La humedad óptima de la curva de la base cementada al 5% es de 6.5%, mientras que, la humedad óptima de la curva de la base cementada al 8% es de 5.5%. Con éstas humedades se realizó las siguientes dosificaciones para hacer un cilindro y una viga:

**Tabla 5.1 Dosificación para realizar un cilindro y una viga al 5% y 8%**

	Cilindro 5%	Viga 5%	Cilindro 8%	Viga 8%
Base granular	14,25 kg	33,25 kg	13,80 kg	32,20 kg
Cemento Holcim Fuerte tipo GU	0,75 kg	1,75 kg	1,20 kg	2,80 kg
Agua	0,975 kg	2,275 kg	0,825 kg	1,925 kg

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

Posteriormente, los ensayos de roturas de los cilindros y las vigas son los siguientes:

**Tabla 5.2 Rotura a los 7 y 28 días de los cilindros al 5% de base cementada**

Cilindro 5% Base - Cemento							
Espécimen	Esfuerzo [MPa]	Carga [KN]	Peso [kg]	Altura [cm]	Diámetro [cm]	Área[cm <sup>2</sup> ]	densidad(kg/m <sup>3</sup> )
7 días	1,75	31,00	12,08	30,50	15,00	176,71	2,241
28 días	2,04	36,00	12,10	30,50	15,00	176,71	2,245

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

**Tabla 5.3 Rotura a los 7 y 28 días de los cilindros al 8% de base cementada**

Cilindro 8% Base - Cemento							
Espécimen	Esfuerzo [MPa]	Carga [KN]	Peso [kg]	Altura [cm]	Diámetro [cm]	Área[cm <sup>2</sup> ]	densidad(kg/m <sup>3</sup> )
7 días	2,02	35,70	11,62	30,50	15,00	176,71	2,156
28 días	2,52	44,50	11,70	30,50	15,00	176,71	2,162

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

**Tabla 5.4 Rotura a los 7 días viga al 5% base cementada**

Viga 5% Base - Cemento	
Esfuerzo [MPa]	0,37
Carga [KN]	3,45
Peso [kg]	26,90
Largo [cm]	53,70
Ancho [cm]	15,40
Alto [cm]	15,00

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

**Tabla 5.5 Rotura a los 7 días viga al 8% base cementada**

Viga 8% Base - Cemento	
Esfuerzo [MPa]	0,29
Carga [KN]	2,72
Peso [kg]	26,30
Largo [cm]	53,00
Ancho [cm]	15,40
Alto [cm]	15,00

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

**Tabla 5.6 Diseño definitivo de Base Cementada con Pavimento Flexible diseñado en el software ALIZE-LCPC**

Proyecto Patio Industrial							
Espesor (m)	Módulo (MPa)	Poisson coeficiente	Zcalcul (m)	EpsT (udef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (udef)	SigmaZ (MPa)
Asfalto 3"(7,62cm)	2700	0,35	0,000	25,300	0,167	123,100	1,012
			0,076	0,400	0,215	187,000	0,823
Base Cementada 35cm	4100	0,25	0,076	0,400	0,241	165,400	0,823
			0,426	-72,200	-0,371	47,100	0,020
Base 40cm	200	0,35	0,426	-72,200	-0,010	132,700	0,020
			0,826	-89,600	-0,025	109,300	0,005
Infinito	20	0,35	0,826	-89,600	0,000	246,100	0,005

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018



**Figura 5.3 Diseño definitivo Base Cementada con Pavimento Flexible**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

## 5.1.2 Losa de Geometría Optimizada

Figura 5.4 Ingreso de datos proyecto en software OptiPave2

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

Figura 5.5 Ingreso de parámetros de diseño

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

Proyecto	Diseño	Tráfico	Hormigón	Suelo	Clima	Resultados
Método de Análisis de Tráfico	Ejes Equivalentes					
Clasificación del Tipo de Tráfico	FHWA TTC 1 ?					
Tasa de Crecimiento Anual de Tráfico	0 (%)					
EE Totales en Pista de Diseño	100.000.000					
<b>Distribución Lateral del Tránsito</b>						
Distancia de la Huella a Línea de Demarcación	450 (mm)					
Desv. Estándar de la Distribución Lateral del Tráfico	250 (mm)					
<b>Espectro de Carga</b>						
TMDA Inicial (Ambos Sentidos) Solo Vehiculos Relevantes	1.000					
Porcentaje de Tráfico en Dirección de Diseño	50 (%)					
Porcentaje de Tráfico en Pista de Diseño	90 (%)					
Porcentaje de Tráfico en Verano	50 (%)					



**Figura 5.6 Ingreso de parámetros de tráfico**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

Proyecto	Diseño	Tráfico	Hormigón	Suelo	Clima	Resultados
Tipo de Ensayo de Resistencia	Flexotracción					
Edad de Ensayo	28 Días					
	MOR a 90 días 5,41 (MPa)					
Flexotracción	4,5 (MPa)					
Confiabilidad Diseño de Hormigón	85 (%)					
Desviación Estándar Diseño de Hormigón	0,4 (MPa)					
Aumento de Resistencia 29 a 90 Días	1,1					
Modulo de Elasticidad del Hormigón	29.000 (MPa)					
Peso Especifico del Hormigón	2.400 (Kg/m <sup>3</sup> )					
Módulo de Poisson	0,15					
Coefficiente de Dilatación Térmico (10 <sup>-6</sup> )	10 (1/°C) ?					
Retracción del Hormigón a los 365 Días	700 (microstrain)					
Contenido de Aire	3 (%)					
Relación Agua-Cemento	0,45					
Fibra Estructural	No					
Método de Ensayo de la Fibra	ASTM 1609					
Resistencia Residual	1 (MPa)					



**Figura 5.7 Ingreso parámetros de Hormigón**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

Proyecto		Diseño		Tráfico		Hormigón		Suelo		Clima		Resultados	
N° de Capas	3												
Tipo de Ensayo	CBR												
	Tipo de Suelo	Módulo Resiliente Invierno (MPa)	Módulo Resiliente Verano (MPa)	Módulo de Poisson	Espesor (mm)								
Base	BTC	3,5	3,5	0,35	200								
2° Capa	A-1-b	200	200	0,35	250								
3° Capa	A-4	69	69	0,35	350								
4° Capa	A-1-a	0	0										
5° Capa	A-1-a												
6° Capa	A-1-a												
Subrasante	A-7-5	20	24	0,35									
Resistencia a la erosión (Capa Bajo el Pavimento)	3		?										
Coefficiente de Fricción Pavimento-Base	0,65												
Material Fino Bajo Malla N° 200 (Capa Bajo el Pavimento)	8		(%)										
<a href="#">Ayuda</a>													



**Figura 5.8 Ingreso parámetros de diseño de suelo**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

Proyecto		Diseño		Tráfico		Hormigón		Suelo		Clima		Resultados	
Pais	Genérico												
Zona	Humedo No-heladizo												
Gradiente Equivalente de Construcción	-10		(°C)										?
Temperatura Media de Invierno	25		(°C)										
Temperatura Media de Verano	27		(°C)										
Temperatura de Fraguado del Hormigón	45		(°C)										
Número de Días al Año con Precipitaciones	20												
Indice de Congelamiento de la Base	5		(%)										



**Figura 5.9 Ingreso parámetros de clima**

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

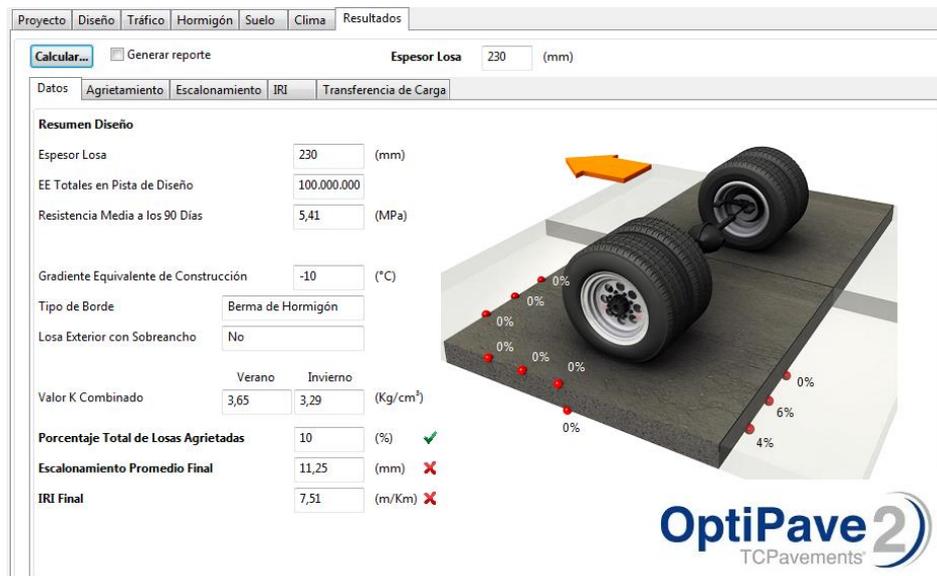


Figura 5.10 Resultados de diseño software OptiPave2

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

El programa OptiPave2 responde a una losa de pavimento rígido de 23 centímetros de espesor.



Figura 5.11 Diseño definitivo Metodología Losa de Geometría Optimizada

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

## **5.2 Análisis de Resultados**

Partiendo de los resultados obtenidos en los estudios de suelos se pudo evidenciar que el material granular que se usa de capa de rodadura no comparten las mismas características en todo el patio. En la figura 2.8 se puede observar según la norma (MTOP, 2002) que las curvas granulométricas de las 5 bases no están en su totalidad entre los rangos límites, a su vez se observó que la base 3 posee una mayor cantidad de material fino en comparación a las otras bases que tienen un comportamiento similar con mayor cantidad de material grueso.

Se analizó la figura 2.12 de ensayo de CBR según la norma (MTOP, 2002) mostrando por resultados que las bases 3 con un porcentaje de 8,18 es el que se encuentra más alejado del rango mínimo, siendo éste 80%.

Debido a que las bases de los cinco puntos no cumplen en su totalidad con los parámetros mínimos establecidos por la (MTOP, 2002) por lo que se estudió la necesidad de mejorar sus características con la metodología de base estabilizada con cemento. Teniendo en cuenta esta situación, se desarrolló dos soluciones como diseños definitivos del pavimento industrial, los cuales serán: diseño de pavimento flexible y pavimento rígido.

### **5.2.1 Diseño de Pavimento Flexible**

Para el diseño de pavimento flexible se propuso usar una base cementada para poder mejorar la capacidad de resistencia del suelo, para lo cual se realizaron los ensayos mostrados en la sección 4.1. Con los resultados de estos ensayos se pudo observar que el diseño de base cementada al 8% es el más óptimo para trabajar con un esfuerzo de 2,02MPa el cual cumple con los requisitos impuestos por la MTOP.

Se conformó una estructura de pavimento como se muestra en la figura 4.3, los cuales fueron calculados para resistir los esfuerzos de fatiga y deformación. Luego de probar ésta estructura en el software de ALIZE-LCPC se obtuvo los resultados de esfuerzos y deformaciones mostrados en la tabla 4.6, de ellos se analizó lo siguiente:

- El esfuerzo de flexotracción en la carpeta asfáltica es de 0,215MPa, esto indica que al ser un valor positivo no está sujeto a fallas por fatiga.
- El esfuerzo de flexotracción en la capa de base cementada arroja un valor de -0,371MPa en la fibra inferior el cual, al ser comparado con la capacidad de resistencia de la base cementada, calculado con la ecuación (3.1) considerando un eje equivalente de 100'000.000 y un Módulo Resiliente de 0,67MPa cumplió con el criterio de flexotracción admisible con un resultado de 0,578MPa.
- La deformación vertical en la subrasante consta de una comparación entre la capacidad resistente con un valor de 246,10 $\mu$  y la carga inducida que se calculó con la ecuación (3.2) dando como resultado 280,00 $\mu$  cumpliendo con el criterio de ahuellamiento en la subrasante.

### **5.2.2 Diseño de Pavimento Rígido**

Para el diseño de pavimento rígido se propuso la estructura definida en la figura 4.11. Después que se realizó el ingreso de datos en el programa OptiPave2 se obtuvo los resultados mostrados en la figura 4.10. Se va a trabajar con un espesor de losa de 23 centímetros el cuál debe pasar los criterios de losas agrietadas, escalonamiento e IRI que serán analizados a continuación:

- El porcentaje de losas agrietadas es del 10% con un 75% de confiabilidad, el cual según la tabla 3.10 en la clasificación de vía con un EE>15 millones el porcentaje máximo es 10%, por lo tanto, es satisfactorio.
- El escalonamiento que dio en el cálculo es 11,23mm con un 75% de confiabilidad, el cual según el (MTOP, 2013) cumplió dentro del rango admisible entre 10 y 30mm.
- El IRI calculado dio un valor de 7.51 m/km, aunque es recomendado un valor menor a 5 m/km en el presente diseño es aceptable por motivo que las velocidades de circulación dentro del patio de contenedores no superan los 40 km/h.

### 5.2.3 Análisis de Costos

Los Análisis de Precios Unitarios se encuentran descritos a detalle en el Anexo G Conjuntamente con los APU's se realizó un cálculo del costo aproximado de ejecución de los dos diseños propuestos. En las tablas 5.7 y 5.8 se detallan los costos de los dos pavimentos con sus capas:

**Tabla 5.7 Costo de realización de pavimento flexible**

Pavimento flexible					
Material	Unidad	C/u	Espesor(m)	Área(m2)	Total
CAPA/RODADURA/H. ASFALT MEZC/PLANTA E= 7.5CM (INC. IMPRIM)	m2	\$13,04	0,075	8535,03	\$111.296,79
BASE CLASE 1 / CEMENTO (INC.TRANSPORTE 20KM.)	m3	\$48,43	0,350	8535,03	\$144.673,03
BASE CLASE 1 (INC.TRANSPORTE 20KM.)	m3	\$24,42	0,400	8535,03	\$83.370,17
				<b>TOTAL</b>	<b>\$339.339,99</b>

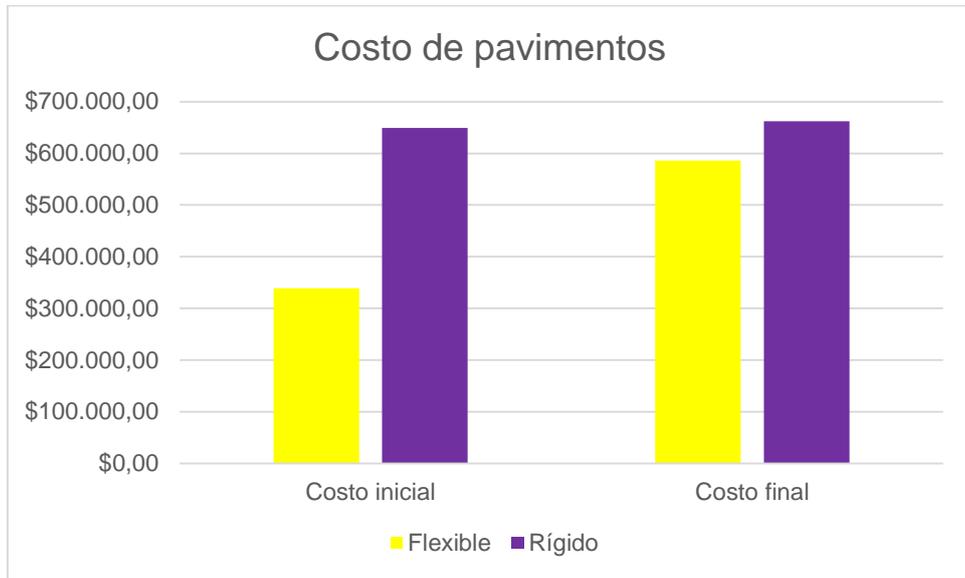
Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

**Tabla 5.8 Costo de realización de pavimento rígido**

Pavimento Rígido					
Material	Unidad	C/u	Espesor(m)	Área(m2)	Total
PAVIMENTO HORM.CEM.POR.MOD.ROT.FLEX.350 kg/cm2	m3	\$278,68	0,230	8535,03	\$547.064,70
BASE EN SITIO / CEMENTO (INC.TRANSPORTE 20KM.)	m3	\$29,11	0,200	8535,03	\$49.690,94
BASE CLASE 1 (INC.TRANSPORTE 20KM.)	m3	\$24,42	0,250	8535,03	\$52.106,36
				<b>TOTAL</b>	<b>\$648.862,00</b>

Fuente: Páez, M., Salazar, B. 2018

Se puede observar que el costo de ejecución del pavimento rígido es aproximadamente el doble que el costo de pavimento flexible, sin embargo, se debe considerar que el pavimento flexible demanda de otros factores para poder cumplir su tiempo de vida útil del periodo de diseño como lo son recapeo y mantenimiento, mientras que, el pavimento flexible demanda sólo de mantenimiento y sus costos se detallan en la figura 4.12.



**Figura 5.12 Comparación costos iniciales y finales de ejecución de los pavimentos**

**Fuente:** Páez, M., Salazar, B. 2018

Según la figura mostrada anteriormente, el incremento del costo en la propuesta de pavimento flexible es de 72% desde el costo inicial de ejecución, mientras que, el incremento del pavimento rígido es 2%.

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

El tema principal de éste proyecto es proponer una solución ante las deformaciones que se producen en el patio de contenedores del Grupo TransEstiba, debido a distintos factores que presenta el sitio, siendo uno de estos una capa de rodadura de un material relleno no pavimentado, y también otro factor son las grandes cargas que debe soportar por la circulación de vehículos pesados, en su mayoría 3S2 y 3S3, conjuntamente del montacargas que es la maquinaria requerida para la actividad principal del patio como es el apilamiento de contenedores.

De los estudios que se realizó en la zona de mayor afluencia del patio se pudo evidenciar con las calicatas que ni un punto compartía las mismas características, así como los espesores de relleno. Se caracterizó a cada punto para conocer el tipo de material y su comportamiento, lo que arrojó que no se cumplía en su totalidad los estándares de clasificación descritos en el libro del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO). Éste factor evidencia la necesidad de contar con una estructura resistente ante las altas cargas inducidas por la actividad, obteniendo así, las alternativas de Pavimento Flexible y Pavimento Rígido.

Luego de haber realizado los distintos análisis se llegó a las conclusiones que se detallan a continuación:

La solución más apropiada por su eficiencia es la alternativa de Pavimento Rígido la cual se calculó con la metodología de Losa de Geometría Optimizada y su estructura está conformada por una losa de hormigón, una base estabilizada con cemento al 8% la cual es mezclada usando el material granular del sitio, una base clase 1, el material de relleno del sitio y finalmente la subrasante.

Analizando los costos finales se pudo notar que la alternativa de Pavimento Flexible es el diseño más económico, sin embargo, se debe tener presente que por la naturaleza del comportamiento del material éste demanda de mantenimientos y recapeo para preservar en condiciones óptimas su estado y así alcanzar el tiempo de vida útil para el cual fue diseñado. Debido a lo mencionado, no sería la opción más adecuada para patio del Grupo TransEstiba por las actividades perennes ya que se requeriría un alto en las operaciones del sitio para realizar los mantenimientos varios y recapeo; esto conlleva pérdidas económicas. Por otro lado, la alternativa de Pavimento Rígido, si bien es cierto, es una propuesta de diseño que representa un mayor costo, sin embargo, por la naturaleza del hormigón al ser más rígido tiene la capacidad de conservarse óptimo durante su tiempo de vida útil, el cual requiere menos mantenimientos durante su etapa de operación sin necesidad de un alto en las operaciones del patio.

Interpretando los APU's se pudo apreciar que, en los costos iniciales de ejecución, el costo del pavimento rígido era aproximadamente el doble que el costo del pavimento flexible debido al alto precio que representa la implementación del hormigón, aunque, al considerar los costos de mantenimiento para ambas alternativas y obteniendo costos finales de ejecución, se distingue que el pavimento flexible incrementa en un 72% de su precio inicial obteniendo finalmente una diferencia del 12% entre el costo final de cada alternativa.

Dentro del cálculo del eje equivalente de diseño resalta el aporte del montacargas el cual aporta el 91% de su totalidad, esto debido al peso nominal de la maquinaria conjuntamente con el peso de los contenedores, esto genera grandes esfuerzos verticales, lo que se traduce deformaciones en considerables profundidades de las capas del suelo. La aplicación de la metodología de base estabilizada con cemento es cumplir con el funcionamiento de reducir la incidencia de las cargas en las siguientes capas y de igual forma las deformaciones dentro de las mismas, por éste motivo, en el pavimento rígido se incluyó la metodología de base estabilizada con cemento para reducir el escalonamiento que se generaba por las deformaciones en las capas inferiores lo que aumenta en la rigidez en la estructura del pavimento.

Mientras que en el pavimento flexible la base estabilizada con cemento aportó con la reducción de la flexotracción de la carpeta asfáltica, evitando así la generación de fallas por fatiga y grandes deformaciones.

Para la evaluación del impacto ambiental se tomó en cuenta que el patio del Grupo TransEstiba al momento de su ocupación tuvo una intervención lo cual afectó ambientalmente dicho lugar, debido a esto la construcción de las dos alternativas de pavimentos no generarían una gran afectación ambiental. No obstante, si hay afectaciones que deben ser consideradas como ruido en el ambiente a los sectores aledaños, el uso de suelo del material in situ y del material proveniente de las canteras los cuales tienen una influencia negativa poco y medianamente significativa durante la etapa de construcción; pero también tiene una afectación positiva medianamente significativa como es la generación de empleo que produciría la aplicación del pavimento en el patio.

## 6.2 Recomendaciones

En la etapa de construcción de la alternativa la excavación y manipulación del suelo generará levantamiento de partículas de polvo y ruido por lo que es recomendable que todos los miembros involucrados en el trabajo usen equipos de protección personal, además de riego de agua sobre la superficie para disminuir el levantamiento de polvo.

Se sugiere la señalización respectiva a la zona de trabajo y mediar con los sectores aledaños antes de la ejecución de la obra para disminuir las molestias que se generarán.

Es recomendable trabajar con APU's actualizados al año en que se pondrá en práctica el proyecto por motivo de variaciones en el precio real y poder realizar un presupuesto ajustado.

Para la construcción de la base estabilizada con cemento se recomienda colocar espesores no mayores a 20 centímetros, para así poder lograr un alto grado de compactación en todo el espesor de la capa. Además, se debe realizar el curado de la base estabilizada con cemento con tasas de 0,50 a 1,20 litros/m<sup>2</sup> en un tiempo no mayor a 20 minutos.

Se propone que se realice una correcta planificación para evitar contratiempos en etapas claves de la construcción como son el curado, hormigonado, adquisición de suministros, etc.

Para la fiscalización de la calidad de los materiales se sugiere: para la capacidad a la flexotracción de la base cementada es recomendable la realización de cilindros que serán sometidos a ASTM C39/C39M – 18, con ese valor y usando la correlación  $f_c = f_t * 6,6$  (6.1) se hallará el valor de flexotracción; para el grado de compactación de los materiales se debe tomar pruebas de densidad con el densímetro nuclear el cuál debe lograr el 100% de grado de compactación.

Para complementar el diseño de pavimento industrial se recomienda la realización de estudios hidráulicos, para diseñar el drenaje que permita recoger las aguas lluvias y poder expulsarlas fuera del patio de contenedores.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (1993). *Design of Pavements Structures*. Washington D.C., United State of America: American Association of state highway and Transportation Officials. Obtenido de <https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>
- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*.
- AASHTO. (1998). *Guide for Design of Pavement Structures*.
- AASHTO T – 180. (s.f.). *Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.)* . American Association of State Highway and Transportation Officials.
- ASTM C131 - 01. (2001). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM C1435 / C1435M. (2014). *Standard Practice for Molding Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer*. Washington: ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM C192 / C192M. (2016). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*. Washington: ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM C39 / C39M . (2018). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Washington: ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM C78 / C78M. (2018). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. Washington: ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM D1883 - 16. (2016). *Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. ASTM INTERNATIONAL.
- ASTM D421-85. (2007). *Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants*. United States.
- ASTM D4318 - 10. (2010). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. United States.
- Benavides Bastidas, C., & Chavarro Barreto, E. (1993). *Caracterización dinámica de materiales viales y su aplicación de diseño racional de pavimentos flexibles*. Popayán: Universidad del Cauca.

- Covarrubias, J. P. (2007). *Chile Patente n° 44820*. Obtenido de <http://www.tcpavements.cl/esp/tecnologia>
- Covarrubias, J. P. (2007). *Chile Patente n° 44820*.
- Dellarossa, N. (2013). *Análisis de la fatiga de bases estabilizadas con cemento en rutas de bajo tránsito*. Universidad Austral de Chile , Valdivia. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfoid357a/doc/bmfoid357a.pdf>
- Lewis, D. (2004). *Georgia's Use of Cement-Stabilized Reclaimed Base in Full-Depth Reclamation*. The Georgia Department of Transportation, Georgia. Obtenido de <https://trrjournalonline.trb.org/doi/pdf/10.3141/1952-14>
- López, R., & Uriarte, M. (2013). *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*. Universidad Nacional de Ingeniería, Managua. Obtenido de <http://ribuni.uni.edu.ni/1142/1/39711.pdf>
- Mendoza, H. (2015). *Evaluación del diseño de losas cortas(TCP) en pavimentos según tensiones*. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga, Ayacucho. Obtenido de [http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/793/Tesis%20Civ441\\_Men.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/793/Tesis%20Civ441_Men.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- MTOP. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. Quito, Ecuador.
- MTOP. (2013). *Pliegos de Licitación*. Quito: MTOP.
- Rocci, S. (1964). *Informes de la Construcción (Vol. 17)*. Madrid, España: 160. Obtenido de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4555/5277>
- Tayabi, S., & Nussbaum, P. (1982). *Evaluation of Heavily Loaded Cement-Stabilized Bases*. Washington District of Columbia. Obtenido de <https://trid.trb.org/view/181067>
- Vila Romani, R. (2017). *Estudios y Propuestas sobre la calidad de los asfaltos y de las mezclas asfálticas en el Ecuador*. Guayaquil: Publicaciones de la UCSG.
- Villacreses, F. (2014). *Diseño de Base Granular estabilizada con cemento hidráulico como solución para Pavimentos*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte,

Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/1520/1/T-ULVR-1428.pdf>

# **ANEXOS**