

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**COMPARACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DEL USO DE BASES
GRANULARES Y BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO,
PARA DIVERSOS CASOS DE TRÁFICO, CON Y SIN CAPA DE
RODADURA, PARA NUESTRO MEDIO**

AUTORA:

Matute Acurio, Andrea Cristina

Trabajo de Titulación

Previo a la obtención del Grado Académico:

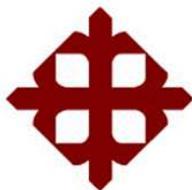
INGENIERO CIVIL

TUTOR:

MURILLO BUSTAMANTE, ROBERTO MIGUEL

Guayaquil, Ecuador

2016



**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 **Matute Acurio, Andrea Cristina**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

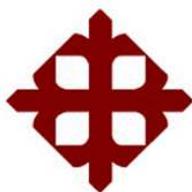
TUTOR

Ing. Murillo Bustamante, Roberto Miguel

DIRECTORA DE CARRERA

f. _____
Ing. Alcivar Bastidas, Stefany

Guayaquil, a los 12 del mes de Septiembre del año 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Matute Acurio, Andrea Cristina

DECLARO QUE:

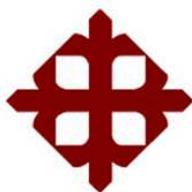
El Trabajo de Titulación, **Comparación técnico económica del uso de bases granulares y bases estabilizadas con cemento, para diversos casos de tráfico, con y sin capa de rodadura, para nuestro medio** previo a la obtención del Título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales 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 12 del mes de Septiembre del año 2016

LA AUTORA

f. _____
Matute Acurio, Andrea Cristina.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, Matute Acurio, Andrea Cristina

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Comparación técnico económica del uso de bases granulares y bases estabilizadas con cemento, para diversos casos de tráfico, con y sin capa de rodadura, para nuestro medio**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 12 del mes de Septiembre del año 2016

LA AUTORA:

f. _____
Matute Acurio, Andrea Cristina.

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TRABAJO DE TITULACIÓN DE ANDREA MATUTE URKUND.doc
(D21669560)
Submitted: 2016-09-09 03:49:00
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 10 %

Sources included in the report:

TESIS_JM.pdf (D16305036)
TESIS Rodrigo Flores S.pdf (D14012397)
<http://myslide.es/documents/explicacion-del-metodo-aashto.html>

Instances where selected sources appear:

26

AGRADECIMIENTO

A DIOS, Por brindarme esta valiosa oportunidad de rodearme con personas magnificas que impulsaron mis luchas, gracias por enseñarme a ser la persona que soy, porque es ahora cuando me doy cuenta que todos los obstáculos o fracasos valieron la pena, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa y justa que puede ser.

A MI HIJO, Ian, Por compartir conmigo esta lucha, por todas las noches cuidándote y estudiando al mismo tiempo que a pesar de ser cansado fueron realmente maravillosas. Eres y serás la personita que me impulse a ser mejor como mujer y profesional.

A MIS PADRES, Efraín y Eva, Por su amor y apoyo incondicional en cada momento, desde mis primeros pasos en jardín hasta ahora en mi vida universitaria, gracias por ser mi motor de arranque y constante motivación, por su paciencia, comprensión y sobretodo amor, gracias por creer en mí y siempre impulsarme a ser mejor persona permitiéndome cumplir con excelencia el desarrollo de este trabajo, gracias por su frase “Eso no es nada” porque a pesar de que en algún momento me pudo desagradar en el fondo me impulsaba a superarme a mí misma, mi más profundo agradecimiento porque si algo aprendí en la vida es que un título no engrandece al ser humano sino el amor que se lleva en el alma.

A MI HERMANA, Diana, Más conocida como “Mi pulga” por ser el motor de mi vida desde el momento que supe de su llegada, gracias por ser mi cómplice, mi amiga, mi compañerita en todo momento, desde pequeña te prometí grandes cosas y este es un escalón más que nos ayudará en el futuro.

A MI ESPOSO, Alejandro, Por ser la persona con la cual tuve el privilegio de recorrer este camino universitario, nunca olvidaré las peleas por malas notas o las celebraciones cuando nos iba bien, porque siempre estuvimos juntos sin importar lo turbio del momento. Un día hace tres años dijimos que nuestro mayor anhelo era graduarnos juntos y lo estamos logrando. Nos

espera un largo camino pero estoy feliz de compartirlo a tu lado no solo como esposa sino también como colega.

A MI SUEGRA, Nury, Porque sin su ayuda no lo habría logrado, gracias por ser la segunda madre de mi hijo, se convirtió en la única persona capaz de cuidarlo igual o mejor de lo que yo lo haría. Gracias por siempre desear lo mejor para mí y mi familia.

A MI MEJOR AMIGA, Anita, Por siempre ser uno de mis pilares, gracias por todos los momentos compartidos durante esta etapa que a pesar de no estudiar la misma carrera ni en la misma universidad siempre estuviste ahí con tus consejos y visión positiva para todo.

A MIS PARIANTES Y AMISTADES, Por su colaboración directa o indirectamente y aún sin saberlo, me ayudaron, ya sea poniendo a mi disposición el valor incalculable de sus conocimientos, compartiendo mis dudas y ansiedades o apoyándome e impulsándome para seguir adelante. A mis compañeros, quienes con el pasar del tiempo pudimos fortalecer una amistad, muchas gracias por toda su ayuda, por convivir todo este tiempo conmigo, por conllevar experiencias, gozos, fracasos, llantos, desánimos, peleas, celebraciones y múltiples factores que ayudaron a que hoy seamos como una familia, por aportarme confianza y por crecer juntos en este proyecto, muchas gracias.

A MIS PROFESORES, Porque sin ustedes no lo habría podido lograr, durante este trayecto me encontré con maestro de diferentes tipos pero en realidad de todos me llevaré un gran recuerdo y cariño por ayudarme en mi formación y por nunca guardarse nada para ellos porque siempre estuvieron dispuestos a enseñar.

A MI TUTOR, Ing. Roberto Murillo, Por su infinita paciencia y dedicación en la realización del presente trabajo, mis más sinceros agradecimientos, quien con su conocimiento y guía fue una pieza clave para que pudiera desarrollar cada etapa del trabajo.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios, a él que siempre estuvo guiando mi camino, ya que gracias a su infinita misericordia he logrado concluir una etapa más de mi vida.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por siempre estar conmigo en cada paso que doy impulsándome a llegar más lejos.

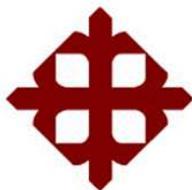
A mi hermana, por transmitirme su locura y alegría en el momento que más lo necesité

A mi esposo, por ser la persona que más cree en mi capacidad, por sus palabras, amor y tiempo para formarme profesionalmente.

A mi hijo, una dedicatoria especial, porque concluir este trabajo involucró separarnos largas horas pero me queda la satisfacción de que es un logro que podremos disfrutar juntos.

A mi querido tutor, por su dedicación y oportunidad de brindarme sus conocimientos para la elaboración del proyecto.

A mis amigos, compañeros y todas aquellas personas que han contribuido en el logro de mis objetivos.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Ing. Murillo Bustamante, Roberto Miguel
TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany
DIRECTORA DE CARRERA

f. _____

Ing. Vera Armijos, Jorge
OPONENTE

f. _____

Ing. Vila Romaní, Rolando
DOCENTE DE LA CARRERA

ÍNDICE GENERAL

Contenido

1.	PROBLEMÁTICA Y OBJETO DE ESTUDIO	17
2.	OBJETIVOS.....	18
2.1.	OBJETIVO GENERAL:	18
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	18
3.	ALCANCE	19
4.	MARCO TEORICO	20
4.1.	FUNDAMENTOS DE BASES GRANULARES Y BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO.....	20
4.2.	MATERIALES UTILIZADOS, TIPOS DE AGREGADOS Y SUS PROPIEDADES.....	27
4.2.1.	SUELOS	27
4.2.2.	CEMENTO	28
4.2.3.	ADITIVOS	29
4.2.4.	AGUA.....	29
4.3.	DISEÑO DE PAVIMENTOS CON REFERENCIAS A:	30
4.3.1.	METODO DE DISEÑO DE LA AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS	30
4.3.2.	METODO DE DISEÑO DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION PCA: THICKNESS DESIGN FOR CONCRETE HIGHWAY AND STREET PAVEMENTS	41
4.3.3.	MTOP - Ministerio de Transporte y Obras Públicas.....	47
4.4.	VENTAJAS Y USOS DE BEC Y BASES GRANULARES.....	53
5.	COMPARACIONES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS DE BEC Y BASES GRANULARES	57
6.	CONCLUSIONES	68
7.	BIBLIOGRAFIA	70
8.	ANEXOS	71

INDICE DE FIGURAS

Fig. #1.- Estructura típica de un pavimento de hormigón_____	20
Fig. #2 Capas de un pavimento flexible_____	21
Fig. #3 Capas de un pavimento rígido_____	22
Fig. #4 Comportamiento del pavimento frente a cargas de tráfico_____	22
Fig. #5 Transferencia de Carga a Sub- Rasante en diferentes tipos de base sin estabilizar y estabilizada con cemento_____	25
Fig. #6 Ecuación de Diseño de pavimentos rígidos_____	32
Fig. #7.- Tendencia en el comportamiento de los pavimentos_____	36
Fig. #8 Nivel óptimo de confiabilidad_____	41
Figura #9: Proporción de Vehículos circulando por el carril de baja velocidad en una vialidad de 2 o 3 carriles_____	45
Fig. #10 Curva granulométrica Base Clase 1 (tipo A y B)_____	48

INDICE DE TABLAS

Tabla#1.- Peso a través de tamices para Base Clase 1 (MOP, 2013)	23
Tabla#2.- Propiedades típicas de las Bases estabilizadas con cemento	29
Tabla#3.- SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (AASHTO)	31
Tabla#4.- Coeficiente de Transferencia de carga (J)	35
Tabla#5.- Valores recomendados del coeficiente de drenaje (Cd) para el diseño	38
Tabla#6.- Valores para la desviación estándar	40
Tabla#7.- Niveles de confiabilidad	40
Tabla#8.- Relación aproximada entre las clasificaciones del suelo y sus valores de resistencia	42
Tabla#9.- Incremento en el valor k del suelo, según el espesor de la base granular	42
Tabla#10.- Incremento en el valor k del suelo, según el espesor de la base granular cementada	43
Tabla#11.- Factores de Crecimiento Anual, según la tasa de crecimiento anual	44
Tabla#12.- Recomendaciones para uso de material de base	47
Tabla #13.- Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 1 (MOP, 2013)	48
Tabla#14.- Valores del factor k	49
Tabla#15.- Verificaciones periódicas de calidad de los materiales	50
Tabla#16.- Tolerancias granulométricas para material de base	50
Tabla#17.- Granulometría de la base a ser modificada	51
Tabla #18.- Resumen de análisis de precios unitarios por m ³	59
Tabla #19.- Resumen Costo de Construcción por m ³ para Pavimento rígido con Base Granular 1A	60
Tabla #20.- Resumen Costo de Construcción por m ³ para Pavimento rígido con BEC Base Estabilizada con Cemento.....	60
Tabla #21.- Resumen espesor de losa para Pavimento rígido con Base Granular 1A	61

Tabla #22.- Resumen espesor de losa para Pavimento rígido con BEC Base Estabilizada con Cemento_____	61
Tabla #23.- Costo Anual Uniforme Equivalente para un tipo de suelo bajo CBR 2% en un Pavimento rígido con Base Granular 1A _____	62
Tabla #24.- Costo Anual Uniforme Equivalente para un tipo de suelo bajo CBR 2% en un para Pavimento rígido con BEC Base Estabilizada con Cemento_____	63
Tabla #25.- Costo Anual Uniforme Equivalente para un tipo de suelo medio CBR 4% en un Pavimento rígido con Base Granular 1A_____	63
Tabla #26.- Costo Anual Uniforme Equivalente para un tipo de suelo medio CBR 4% en un para Pavimento rígido con BEC Base Estabilizada con Cemento_____	64
Tabla #27.- Costo Anual Uniforme Equivalente para un tipo de suelo excelente CBR 8% en un Pavimento rígido con Base Granular 1A_____	64
Tabla #28.- Costo Anual Uniforme Equivalente para un tipo de suelo excelente CBR 8% en un para Pavimento rígido con BEC Base Estabilizada con Cemento_____	65
Tabla #29.- Resumen Costo de Construcción por m3 para Pavimento rígido con Base Granular 1A Camino Lastrado_____	66
Tabla #30.- Resumen Costo de Construcción por m3 para Pavimento rígido con Base Estabilizada con cemento_____	66
Tabla #31.- Costo Anual Uniforme Equivalente para un Pavimento rígido con Base Granular 1A Camino Lastrado_____	67
Tabla #32.- Costo Anual Uniforme Equivalente para un Pavimento rígido con Base Estabilizada con cemento_____	67

INDICE DE ANEXOS

- **Anexo #1** ----- **71-74**
 - ✚ APUS
 - Base clase 1A (e 20cm).
 - Base clase 1A estabilizada con cemento (e 20cm).
 - Hormigón para pavimento Módulo de Rotura 4.5 MPa.
 - Suelo estabilizado con cemento.
- **Anexo #2** ----- **75-83**
 - ✚ Costos de construcción por m3 con diferentes condiciones de tráfico y calidades de suelo.
- **Anexo #3** ----- **84-85**
 - ✚ Análisis de costos por suelo estabilizado con cemento para caminos vecinales comparado con camino lastrado.

RESUMEN

En el presente trabajo investigativo se realizó una comparación técnica económica del uso de bases granulares y bases estabilizadas con cemento, para diversos casos de tráfico, con y sin capa de rodadura, para nuestro medio. El análisis técnico fue realizado utilizando el método de la AASHTO 93 considerando ciertos parámetros similares para todos los casos, variando los ESALS y el coeficiente k de reacción del suelo, que al mejorarlo con cemento cambia, este k es una equivalencia del CBR que se indica en los APU. Se realizó el análisis financiero basado en una comparación entre Pavimento rígido con Base Granular 1A y una BEC, Base Estabilizada con Cemento, un Camino vecinal hecho con lastre de río sin estabilizar y otro con el mismo lastre pero estabilizado, cada uno con diferentes costos de mantenimiento en el tiempo y diferente tipo de refuerzo con el fin de determinar el tipo de capa de rodadura a construirse en una carretera, que sea económicamente rentable y durable para el organismo ejecutor de la obra.

ABSTRACT

An economic technical comparison of the use of granular bases and cement stabilized bases for various trafficking cases, with and without wearing course, for our environment was conducted in this research work was c. Technical analysis was performed using the method AASHTO 93 considering certain similar parameters for all cases, varying ESALs and the coefficient k of ground reaction that improve cement changes, this k is an equivalence of CBR indicated in the APU. financial analysis based on a comparison between rigid pavement with Base Granular 1A and BEC, Base Stabilized with Cement, a dirt road made with ballast river unstabilized and another with the same ballast but stabilized performed, each with different costs maintenance over time and different type of reinforcement in order to determine the type of wearing course to be built on a road that is economically profitable and durable for the executing agency of the project.

Palabras Claves: comparación, económica, granular, estabilizadas, rígido, flexible, mantenimiento, refuerzo, rodadura, rentable, durable.

INTRODUCCIÓN

Las carreteras son las arterias principales de desarrollo de cada país, por lo tanto son factores de vital importancia para el desarrollo de las sociedades.

La infraestructura vial incide mucho en la economía de Ecuador por el gran valor que tiene en ésta, pues al alto costo de construcción, mantenimiento o rehabilitación hay que adicionarle también los costos que se derivan por el mal estado de las vías debido a problemas climatológicos o inclusive por deficiencias constructivas; todo esto ocasiona severos trastornos a la economía de un país, se debe estar conscientes que se vive en un país de recursos escasos y por ende la utilización racional e inteligente de estos recursos debe ser hecha con un criterio en el cual prime la mejor solución técnica y el máximo beneficio económico. Por estos motivos los profesionales del área se enfrentarán a un reto muy importante que es el de proporcionar en forma natural o estabilizada, los materiales como base o estructuras de pavimento eficaces con presupuestos cada vez más restringidos.

En el Ecuador se ha dado poca importancia al Análisis Técnico Económico de alternativas en la construcción de carreteras, basta con observar el monto de las inversiones realizadas en la ejecución de proyectos viales y observar que la gran mayoría fueron ejecutados sin un adecuado criterio técnico económico.

Este trabajo de investigación trata de un análisis de una parte del componente vial con relación a los materiales constitutivos de la estructura de los pavimentos: siendo este material la base granular en su estado natural o estabilizado con cemento, logrando establecer los beneficios técnicos y económicos que puede derivarse del uso de materiales estabilizados en la construcción de carreteras.

El ACI define al suelo-cemento como “una mezcla de suelo con cantidades medidas de cemento Portland y agua, compactada a una alta densidad”. El suelo cemento puede ser además definido como un material que se produce mezclando, compactando y curando una combinación de suelo/agregado, cemento Portland, agua y posiblemente adiciones incluyendo puzolanas, para formar un material endurecido con propiedades específicas de ingeniería” (ACI 230.1R).

1. PROBLEMÁTICA Y OBJETO DE ESTUDIO

La problemática de la mayoría de las vías de Ecuador, especialmente en la región Costa, generalmente siempre han sido la calidad de subsuelo, las canteras de materiales clasificados se encuentren solo en determinados sectores, encareciendo significativamente la ejecución de las vías, debido al costo elevado de acarreo del material por las largas distancias. Se pretende realizar un análisis técnico económico del beneficio que genera el aprovechamiento del uso de los suelos propios de las zonas de proyecto mejorándolos mediante la estabilización con cemento, consiguiendo reducir los espesores de capa de material granular y de esta manera reducir los costos de construcción tomando para ello varios ejemplos que podrían replicarse en otros casos.

En Ecuador se han venido ejecutando proyectos viales mediante técnicas tradicionales que han llevado con el tiempo a deteriorarse debido a varios factores entre estos el alto tráfico, ocasionando que las carreteras deben ser intervenidas mediante reparaciones integrales, representando esto una inversión significativa para el estado.

El análisis y estudio técnico de la estabilización de materiales de una zona de proyecto con cementos portland, ayudará a disminuir considerablemente estos costos, dando como resultado un diseño de proyectos de caminos más económicos y viables.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL:

- Comparación técnica económica entre una base granular para pavimentos versus una base estabilizada con cemento para una estructura de pavimento, tomando en cuenta parámetros de diseño de vías y su costo de mantenimiento en el tiempo y determinar el procedimiento Técnico – Económico para seleccionar el tipo de capa de rodadura a construirse en una carretera, que sea económicamente rentable y durable para el organismo ejecutor de la obra.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Ver las alternativas y experiencias en el medio para realizar un diseño vial basado en dos métodos, uno de ellos mediante el uso de bases granulares y el otro de bases estabilizadas con cemento.
- Aplicación de conceptos técnicos sobre diseño de vías bajo una óptica financiera, las alternativas técnicas serán comparados mediante herramientas de análisis financiero y dará recomendaciones sobre la más económica factible.

3. ALCANCE

Este trabajo de investigación es de vital importancia y si bien está dirigido a los constructores y promotores en general para obtener soluciones constructivas más económicas y durables, también constituye una valiosa herramienta para todos los que están involucrados en un proyecto de ingeniería, ya que dará una guía de análisis de problemas similares. Este trabajo no pretende crear nuevas soluciones técnicas sino hacer el uso correcto de las existentes, desde un punto de vista técnico – económico.

4. MARCO TEORICO

4.1 FUNDAMENTOS DE BASES GRANULARES Y BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO.

El diseño de pavimentos es una estructura compleja que necesita un diseño especial ya que esta estructura se conforma por varias capas de diferentes espesores y calidades que al interactuar con otras brindan resistencia al tráfico. Existen de dos tipos flexibles o asfálticos y rígidos o de concreto hidráulico, con diferentes tipos de bases y sub bases y con diferentes tipos de rehabilitación

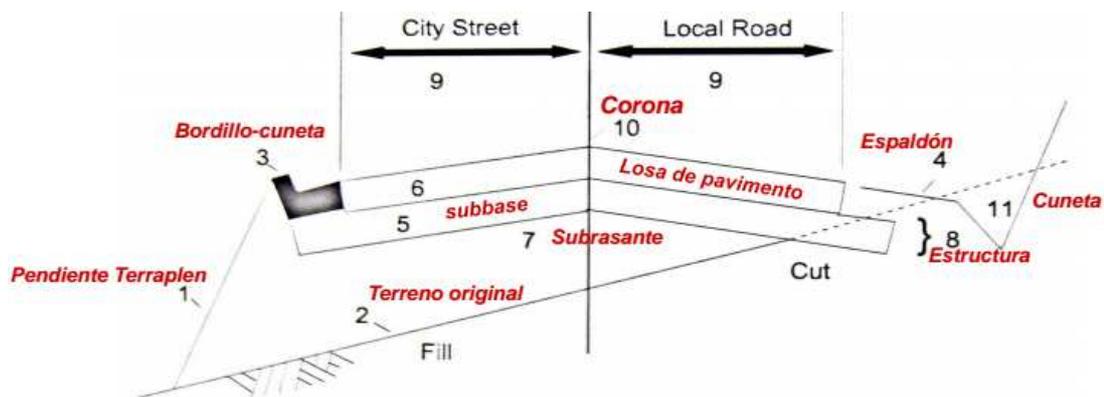


Fig. #1.- Estructura típica de un pavimento de hormigón
Bases granulares estabilizadas con cemento para pavimentos de concreto.
(Ing. Hugo Egúez, 2010)

A manera de introducción se analizará brevemente los pavimentos flexibles como aquellos que poseen revestimiento asfáltico sobre una base granular, en este sistema las capas de revestimiento y base absorben las tensiones verticales de compresión por medio de la absorción de tensiones cizallantes produciendo hundimientos cuando el tráfico tiende a ser canalizado y la ondulación longitudinal de la superficie cuando la heterogeneidad del pavimento es significativo. En este tipo de pavimentos también se ve afectada la fibra inferior del revestimiento debido a las tensiones de

deformación y tracción provocando fisuración por fatiga incitado por las cargas de tráfico.

Se conforma en 5 capas:

- Sub-rasante: Base del pavimento con espesor infinito
- Sub-base: Material granular que brinda un grado de resistencia al pavimento.
- **Base granular: Material granular de mejor calidad**
- Base asfáltica:
- Carpeta asfáltica: Capa superficial del pavimento.

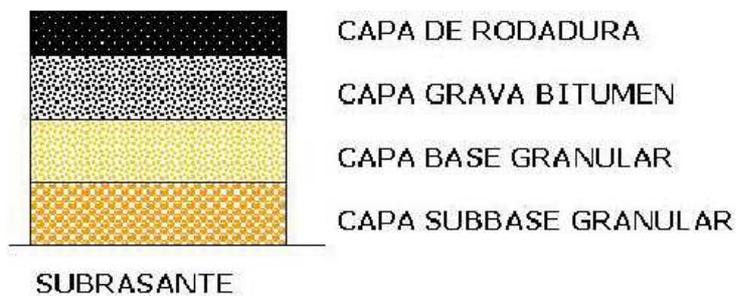


Fig. #2 Capas de un pavimento flexible (TARINGA, 2012)

Se diseñan bajo los siguientes parámetros:

- No. de ejes o vehículos que pasan por la vía.
- Módulos Elásticos de las capas que conforman el pavimento.
- Temperatura del ambiente.
- Espesores de las capas.

Los pavimentos rígidos cuentan como componente estructural la losa de hormigón de cemento Portland ya que esta capa alivia tensiones por su gran resistencia a la flexión, este mecanismo experimenta fisuraciones de fatiga cuando se generan tensiones y deformaciones de tracción por debajo de la losa provocado por repeticiones de carga.

Se conforman por las siguientes capas:

- Sub-rasante.
- Capa de concreto pobre.
- Capa de concreto hidráulico.



Fig. #3 Capas de un pavimento rígido (TARINGA, 2012)

Por lo tanto al actuar esfuerzos sobre los diferentes tipos de pavimentos la forma de reaccionar de cada uno ante estos resulta diferente por lo cual es necesario determinar el tipo pavimento a elegir para cada caso, se requiere seguir un proceso de selección que implica la consideración de diversos aspectos entre los que destacan los relativos a los costos.

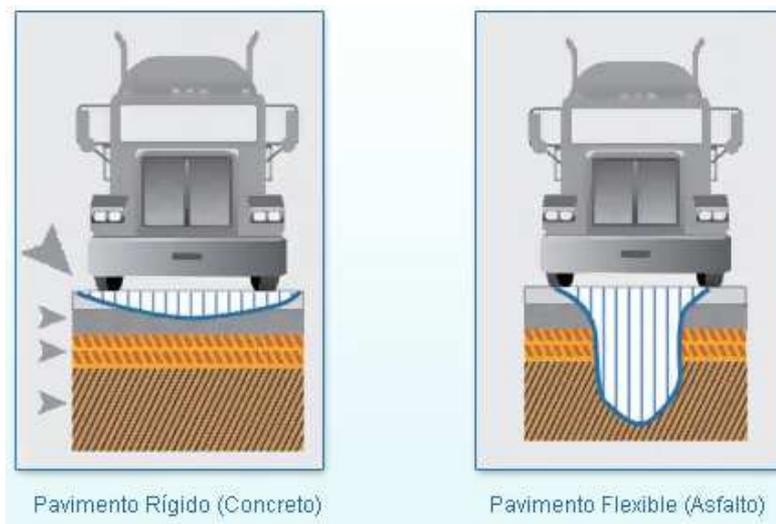


Fig. #4 Comportamiento del pavimento frente a cargas de tráfico.
(BARDALES, 2013)

Las bases más utilizadas en Ecuador son las Bases Granulares Clase 1A, este material deberá cumplir con las Especificaciones Generales para la

Construcción de Caminos y Puentes del MTOP Ministerio de Transporte y Obras Públicas Tomo I, sección 404. 404-1 y Tomo II, sección 814. 814-2.

Las bases granulares son capas de material selecto compuestas por agregados triturados (fragmentos de roca, grava y arena) en un 100% estabilizados con agregado fino que surge de la trituración o de algunos suelos finos, o ambos. La trituración de los agregados no contiene fracción fina de arcillas y limos por lo cual no se obtiene un producto económico ya que resulta poco laborable. Esta capa se colocará sobre una base terminada o sobre una sub rasante dependiendo de sus especificaciones respetando sus pendientes y sección transversal según el diseño. En los tipos de suelo A-1 se debe añadir otro suelo con elevado contenido de suelo-suelo-cemento. Este tipo de bases fallan cuando la interacción entre las partículas se pierde.

Tabla#1

Peso a través de tamices para Base Clase 1 (MOP, 2013).

TAMIZ		BASE CLASE 1 TIPO A		BASE CLASE 1 TIPO B	
		MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
		2"	50 mm		100
1 ½"	37.5 mm	70	100	70	100
1"	25 mm	55	85	60	90
¾"	19 mm	50	80	45	75
3/8"	9.5 mm	35	60	30	60
N°4	4.75 mm	25	50	20	50
N° 10	2 mm	20	40	10	25
N° 40	0.425 mm	10	25	2	12
N° 200	0.075 mm	2	12		

Fuente: Manual NEVI-12 Volumen 3, Capítulo 400 Estructura del Pavimento, Sección 404 Bases, 404-1 Bases de Agregados, 404-

1.02 Materiales

BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO

El ACI define al suelo-cemento como “una mezcla de suelo con cantidades medidas de cemento Portland y agua, compactada a una alta densidad”. El suelo cemento puede ser además definido como un material que se produce mezclando, compactando y curando una combinación de suelo/agregado, cemento Portland, agua y posiblemente adiciones incluyendo puzolanas, para formar un material endurecido con propiedades específicas de ingeniería” (ACI 230.1R). El suelo-cemento es usado como un material base para pavimentos empleando también para protección de taludes, recubrimientos de baja permeabilidad, estabilización de cimientos, y otras aplicaciones.

Las propiedades del suelo – cemento, se encuentran influenciadas por factores como:

- Tipo y proporciones del suelo, del cemento y del contenido de agua
- Grado de compactación
- Uniformidad de la mezcla
- Condiciones de curado
- Edad de la mezcla compactada

Mientras tanto las bases de agregados estabilizadas con cemento (BAEC) también conocidos como bases estabilizadas con cemento o bases de agregados tratados con cemento es una mezcla física de agregados pétreos, cantidades medidas de cemento Portland y agua, que endurece después de compactarse y curarse para formar un material de pavimento durable, es usualmente usada en carreteras, caminos, calles y áreas de estacionamiento, aeropuertos y patios de almacenamiento o bodegas.

Las propiedades de los suelos estabilizados con cemento son:

- Densidad
- Resistencia a la compresión simple
- Resistencia a la tracción por Flexión

- Permeabilidad
- Módulo de Elasticidad

Como una consecuencia de la incorporación de cemento, el espesor de la BAEC es menor que el requerido para bases granulares que soporten el mismo tráfico, porque la rigidez de la BAEC hace que las cargas de tráfico se distribuyan sobre un área mayor, haciendo disminuir los esfuerzos sobre la sub base o sobre la sub-rasante.

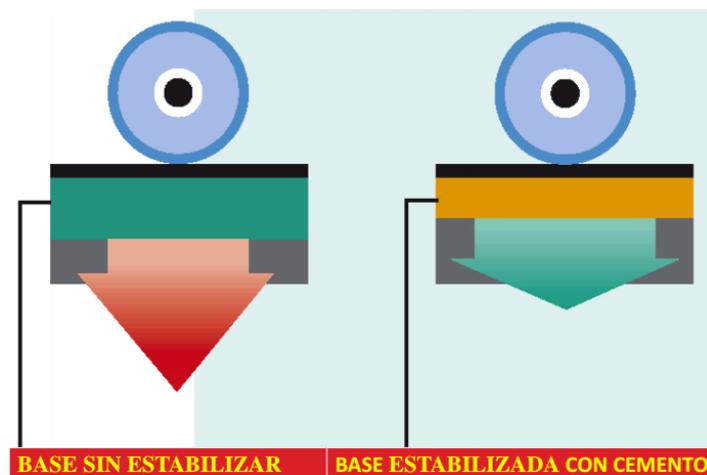


Fig. #5 Transferencia de Carga a Sub- Rasante en diferentes tipos de base sin estabilizar y estabilizada con cemento.

La falla en una base de agregados estabilizados con cemento se podría generar cuando las partículas de suelo de la sub-rasante penetran a la base por el incremento de las cargas del tráfico. Se podría clasificar como impermeable este tipo de base, ya que hace de esta más resistente a las variaciones climáticas y además gana resistencia por la hidratación del cemento que se sigue ganando con la edad.

Se sabe que un material puede ser estabilizado al añadir cemento, agua y energía de compactación garantizando así la calidad de la base estabilizada y del pavimento a un menor costo, ya que al estabilizarla se disminuye el agrietamiento incitado por las cargas de tránsito generados por fatiga, mejorando su plasticidad, resistencia mecánica y estabilización bajo

procesos de meteorización a condiciones climáticas a las que se encuentra el pavimento principalmente a altos índices de saturación.

Un porcentaje de cemento menor del 3% para mejoramiento de la base producirá baja calidad de la base y pérdida de eficiencia de la inversión realizada por el mal uso de insumos y de la tecnología, así mismo en el caso de tener un porcentaje elevado de cemento éste afectará las propiedades mecánicas del pavimento, el mecanismo realmente efectivo en este sistema es el incremento en energía de compactación la cual depende de la proporción, forma, textura y dureza del agregado; ya que permite utilizar menos cemento y obtener la resistencia necesaria disminuyendo la contracción y el costo del aditivo.

En cuanto a la cantidad óptima de agua permite lograr la máxima resistencia y no con esto se logra la máxima densidad. Se logra reducir el potencial de agrietamiento mediante el incremento de la fuerza de compactación y el control de la cantidad de agua. El bajo agrietamiento no afecta el servicio a largo plazo siempre que hayan sido controlados los trabajos en todas las etapas.

Este mecanismo tiene sus siguientes limitaciones

- Agrietamiento por contracción reflejada en las capas superiores de rodamiento.
- En suelos plásticos complicaciones para el mezclado.
- El fraguado del cementante limita el tiempo para el mezclado, conformación y compactación de los tramos de construcción.

4.2 MATERIALES UTILIZADOS, TIPOS DE AGREGADOS Y SUS PROPIEDADES.

4.2.1 SUELOS

Se considera un material de tres fases sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida la conforman varios minerales formando una estructura que se deriva del tipo, tamaño de partículas y rigidez de su organización. El suelo contiene un alto volumen de vacíos en forma de poros que pueden encontrarse total o parcialmente llenos de agua o agua y gas (Toirac, 2008).

El suelo se divide en dos grupos; los suelos finos compuestos por arcillas y limos y los suelos gruesos formado por arenas y gravas. Estos grupos se subdividen según su granulometría o distribución según el tamaño de partículas y la plasticidad a diferentes tipos de humedad. Esta subdivisión se basa a la reacción ante acciones internas y externas, como la permeabilidad, las densidades posibles de alcanzar, las deformaciones que pueden sufrir bajo carga y la estabilidad o resistencia entre otros parámetros (Toirac, 2008).

Suelos Finos

En los suelos de granos finos como los suelos arcillosos y limosos cuando se mezclan con cemento y agua se producen durante el periodo de hidratación, unión entre partículas minerales para formar una micro estructura (Toirac, 2008).

Suelos Gruesos

Los suelos gruesos están compuestos por arenas y gravas formando partículas resistentes, poco solubles en el agua y por lo que dificulta al añadir pasta cemento impidiendo la integración estructural íntima que transforma dicho suelo. En suelos gruesos la pasta de cemento forma puentes de unión entre las partículas dejando vacíos irregulares entre ellas (Toirac, 2008).

Todos aquellos suelos con proporciones de suelo grueso y fino sin predominio excesivo de un determinado tamaño, pueden ser empleados para producir suelo-cemento a excepción de la capa vegetal. Es importante que la plasticidad aporte cohesión a la mezcla, aumentando así la laborabilidad y el aislamiento térmico sin que se produzcan agrietamientos por contracción (Toirac, 2008).

Se considera suelos eficientes a todos aquellos que reaccionan ante una porción pequeña de cemento en esta clasificación encontramos a los suelos arenosos, suelos con grava, suelos arenosos con deficiencia de partículas finas, suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad (Toirac, 2008).

Los suelos deficientes no reaccionan bien ante una proporción relativamente pequeña de cemento, por lo que necesitan más cantidad de cemento para poder endurecer como los suelos limosos, arcillosos con alta plasticidad y los suelos orgánicos (Toirac, 2008).

Para que un solo sea considerado ideal debe con volúmenes de cemento mínimos debido a que las deficiencias del suelo fueran mínimas por lo tanto cumplen con las siguientes características: máximo agregado de arena 80% (óptimo del 55% al 75%), máximo agregado de limo 30% (óptimo 0% al 28%), máximo agregado de arcilla 50% (óptimo 15% al 18%), máximo agregado de materia orgánica 3% y debe pasar por un tamiz de 4,8 mm (#4) (Toirac, 2008).

4.2.2 CEMENTO

A nivel teórico se indica que generalmente se puede utilizar cementos portland tipo I o II siempre que cumplan con la norma NTE – INEN 152 o ASTM C150, sin embargo estos cementos conocidos como OPC o Portland puros sin adiciones comercialmente no se encuentran en el mercado.

Existe el cemento portland tipo IP que cumple con la norma NTE – INEN 490 o STM C – 595, cuyo uso tiene las ventajas de los cementos I o II, pero con adiciones de puzolana, así mismo existe en el mercado los cementos por desempeño bajo la norma NTE – INEN 2280 o ASTM C1157, donde los adecuados serían los llamados GU o de Uso General y los MH o de moderado calor de hidratación.

Dependiendo del tipo de suelo y de los requerimientos de cemento varían según el tipo de suelos y de las propiedades deseadas para el suelo cemento. El contenido de cemento varía entre valores tan bajos como 4% o tan altos como 16% del peso seco del suelo. De una manera general, el contenido de cemento requerido se incrementa a medida que aumenta el contenido de arcilla de los suelos utilizados

Las propiedades típicas de las BAEC, con los contenidos de cemento necesarios para su durabilidad, son:

Tabla #2

Propiedades típicas de las Bases estabilizadas con cemento.

PROPIEDAD	VALORES DE 28 DÍAS
Resistencia a la compresión saturada	3-6 MPa
Módulo de rotura	0,7 – 1 MPa
Módulo de elasticidad	7000-14000 MPa
Relación de Poisson	0,12 – 0,14

4.2.3 ADITIVOS

Por lo general mezclas de suelo no requieren el uso de aditivos adicionales, a menos que se realice la pre mezcla en una planta y luego sea transportada en ambientes climáticos nocivas o con diferentes consideraciones.

4.2.4 AGUA

El agua es indispensable en las mezclas de suelo cemento para la hidratación del cemento Portland así como para conseguir la máxima

compactación de la mezcla. Los contenidos de agua en los suelos-cemento varían usualmente dentro de un rango del 10 al 13 por ciento del peso al momento de ser secado en horno. Para la mezcla se usa agua potabilizada o limpias, libres de elementos perjudiciales. Se sugiere un PH entre 5.5 y 8.0 y que el contenido de sulfatos no sea superior a 1 g/lt.

Las propiedades del suelo-cemento están influenciadas por algunos factores, a saber:

- Tipo y proporciones del suelo, del cemento y del contenido de agua
- Grado de compactación
- Uniformidad de la mezcla
- Condiciones de curado
- Edad de la mezcla compactada.

4.3 DISEÑO DE PAVIMENTOS CON REFERENCIAS A:

4.3.1 METODO DE DISEÑO DE LA AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS SUELOS

En general la mayor parte de los suelos que existen en el país, pueden mejorarse o estabilizarse con el uso de los cementos producidos localmente, a excepción de los suelos excesivamente plásticos, orgánicos o con altos contenidos de sales que puedan afectar el desempeño del cementante.

Tabla #3

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (AASHTO)

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2-4				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa:											
N° 10 (2mm)	50 máx	-	-	-				-			
N° 40 (0,425mm)	30 máx	50 máx	51 mín	-				-			
N° 200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx				35 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Consistencia											
Límite líquido	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	41 mín (2)
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
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			

(AASHTO, 1993)

- ❖ No plástico
- ❖ El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30
- ❖ El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30

Existen ciertos requisitos granulométricos de los suelos para ser utilizados en mezclas Suelo - Cemento

- Tamaño Máximo = 50 mm
- Pasa la malla No. 4 = 50 al 100 %
- Pasa la malla No. 200 = 5 al 35 %

La fórmula general a la que llegó al AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos, basada en los resultados obtenidos de la prueba AASHO es la siguiente (Calo, 2012).

$$\log_{10}(E18) = \left\{ \begin{array}{l} \text{Desviación Estándar Normal} \\ \text{Error Estándar Combinado} \\ \text{Espesor} \\ \text{Diferencia de Serviciabilidad} \\ \log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right] \\ 1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}} \\ \text{Serviciabilidad Final} \\ \text{Módulo de Ruptura} \\ \text{Coeficiente de Drenaje} \\ S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132) \\ \text{Tráfico} \\ Z_r \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D+1) - 0.06 + \\ + (4.22 - 0.32 \times pt) \times \log_{10} \left[\frac{215.63 \times J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]}{\text{Coeficiente de Transferencia de Carga} \quad \text{Módulo de Elasticidad} \quad \text{Módulo de Reacción}} \right] \end{array} \right.$$

Fig. #6 Ecuación de Diseño de pavimentos rígidos (Calo, 2012).

El procedimiento empieza asumiendo un espesor de pavimento e iniciar tanteos calculando ejes equivalentes para luego evaluar factores de diseño, cuando se cumple el equilibrio en la ecuación entonces el espesor es el correcto, en caso de no haber equilibrio en la ecuación se deberán seguir haciendo tanteos para tomando como valor semilla el resultado del tanteo anterior (Calo, 2012).

Las variables de diseño de Pavimentos Rígidos son: espesor, serviciabilidad, tráfico, transferencia de carga, propiedades del concreto, resistencia de la sub-rasante, drenaje y confiabilidad (Calo, 2012).

- Espesor

El espesor del pavimento de concreto es la variable que se pretende determinar al realizar un diseño, el resultado del espesor se ve afectado por todas las demás variables que intervienen en los cálculos. Es importante especificar lo que se diseña, ya que a partir de espesores regulares una

pequeña variación en el espesor puede significar una variación importante en la vida útil (Calo, 2012).

- **Serviciabilidad**

El procedimiento de Diseño AASHTO predice el porcentaje de pérdida de serviciabilidad (Δ PSI) para varios niveles de tráfico y cargas de ejes. Entre mayor sea el Δ PSI, mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar.

La serviciabilidad se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos y camiones) que circulan en la vía, se mide en una escala del 0 al 5 en donde 0 (cero) significa una calificación para pavimento intransitable y 5 (cinco) para un pavimento excelente. La serviciabilidad es una medida subjetiva de la calificación del pavimento, sin embargo la tendencia es poder definirla con parámetros medibles como los son: el índice de perfil, índice de rugosidad internacional, coeficiente de fricción, distancias de frenado, visibilidad, etc (Calo, 2012).

La Serviciabilidad Inicial (P_o), es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo, los valores recomendados por la AASHTO para este parámetro son para pavimento de Concreto = 4.5 y para la Serviciabilidad Final (P_t , que es la calificación que esperamos tenga el pavimento al final de su vida útil, la AASHTO recomienda (Calo, 2012).

- Para Autopistas 2.5
- Para Carreteras 2.0
- Para Zonas Industriales 1.8
- Pavimentos Urbanos Principales 1.8
- Pavimentos Urbanos Secundarios 1.5

- Tráfico

La metodología AASHTO considera la vida útil de un pavimento relacionada el número de repeticiones de carga que podrá soportar el pavimento antes de llegar a las condiciones de servicio final predeterminadas para el camino. El método AASHTO utiliza en su formulación el número de repeticiones esperadas de carga de Ejes Equivalentes, es decir, que antes de entrar a las fórmulas de diseño, debemos transformar los Ejes de Pesos Normales de los vehículos que circularán por el camino, en Ejes Sencillos Equivalentes de 18 kips (8.2 Ton) también conocidos como ESAL's.

Los pavimentos de concreto el AASHTO los diseña por fatiga. La fatiga la podemos entender como el número de repeticiones o ciclos de carga y descarga que actúan sobre un elemento.

La vida útil mínima con la que se debe diseñar un pavimento rígido es de 20 años. Adicionalmente se deberá contemplar el crecimiento del tráfico durante su vida útil, que depende en gran medida del desarrollo económico – social de la zona en cuestión, del mejoramiento de las características del pavimento se puede generar tráfico atraído e igualmente se debe considerar la capacidad de tráfico de la vía.

$$T_{vu} = T_{pa} \times FCT$$

Dónde:

T_{vu} = Tráfico en la vida útil

T_{pa} = Tráfico durante el primer año

FCT = Factor de crecimiento del tráfico, que depende de la Tasa de Crecimiento Anual y de la Vida Útil (Calo, 2012).

- Transferencia de Carga

Se debe reducir al mínimo las deflexiones en las juntas transversales entre losa y losa, para esto es necesario hacer que las cargas de tránsito sean

transmitidas de manera eficiente. Si las deflexiones son excesivas puede ocurrir un bombeo en la sub-base, lo cual se traduce en roturas en la losa de concreto. Se puede definir la transferencia de cargas usando deflexiones o tensiones en la junta. La transferencia por cargas de deformación es:

$$LT_{\delta} = \frac{(\delta_{no\ cargada})}{\delta_{cargada}}$$

Donde:

- LT_{δ} = transferencia de cargas por deformaciones.
- $\delta_{no\ cargada}$ = deflexión de la losa adyacente no cargada.
- $\delta_{cargada}$ = deflexión de la losa cargada.

(Calo, 2012).

El método AASHTO 93 considera la capacidad de una estructura de pavimento rígido para distribuir cargas a través de juntas o grietas mediante el coeficiente de transferencia de carga J, siendo este afectado por dispositivos de transferencia, trabazón de agregados y la presencia de bermas de concreto.

El rango de los valores del coeficiente de transferencia de carga esta dado a partir de la experiencia y el análisis de esfuerzos.

Tabla #4
Coeficiente de Transferencia de carga (J)

Soporte lateral	Si	No	Si	No	Si	No	Tipo
ESALs en millones	Con pasadores con o sin refuerzo de temperatura		Con refuerzo continuo		Sin pasadores (fricción entre agregados)		
Hasta 0.3	2.7	3.2	2.8	3.2	-	-	Calles y caminos vecinales
0.3 – 1	2.7	3.2	3.0	3.4	-	-	
1 – 3	2.7	3.2	3.1	3.6	-	-	
3 – 10	2.7	3.2	3.2	3.8	2.5	2.9	Caminos principales y autopistas
10 – 30	2.7	3.2	3.4	4.1	2.6	3.0	
más de 30	2.7	3.2	3.6	4.3	2.6	3.1	

(Calo, 2012).

Conforme las cargas de tráfico aumentan, el valor de J se incrementa, ya que la transferencia de carga disminuye con la repetición de carga.

- Propiedades del concreto
 - ✓ Módulo de reacción de la subrasante (k): Este valor estima el valor de asentamiento de la subrasante al aplicar esfuerzo de compresión, por falta de tiempo este valor es estimado por correlación de CBR o pruebas de valores R.

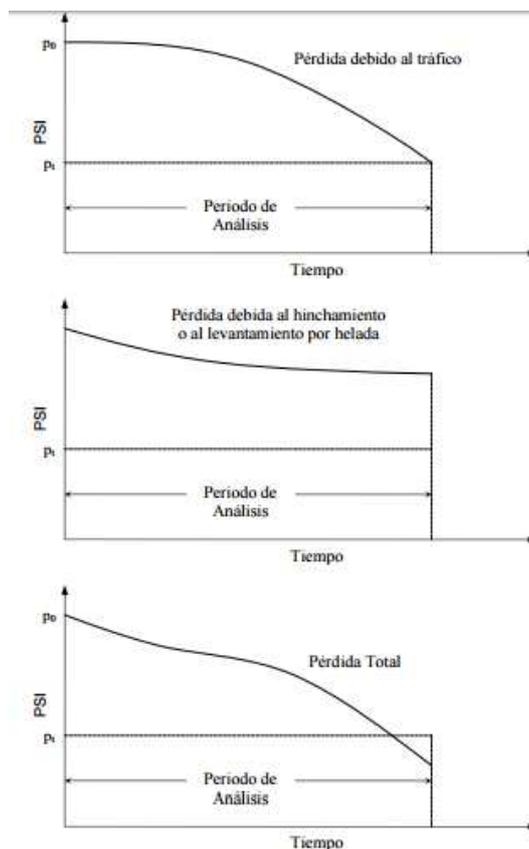


Fig. #7.- Tendencia en el comportamiento de los pavimentos (Calo, 2012).

- ✓ Módulo de rotura del concreto o resistencia a la tracción del concreto por flexión: Controla el agrietamiento por fatiga del pavimento, producido por carga de camiones, este módulo se determina a los 28 días por el ensayo de carga en los tercios y carga en punto medio, o a través de correlaciones como:
 - Resistencia a compresión del concreto:

$$S' = k (f'c)^{0.5} \quad 7 < k < 12$$
 Donde:

f'_c = Resistencia a compresión del concreto en psi.

- Resistencia a la tracción indirecta

$$S_c' = 210 + 1.02 IT$$

Donde:

IT = Tracción indirecta medida en las probetas en psi (Calo, 2012).

- ✓ Módulo de elasticidad del concreto: Es la relación entre la tensión y la deformación que indica la rigidez y capacidad de distribuir cargas, están vinculadas con las deflexiones, curvaturas y tensiones

Está dado por:

$$E_c = 57000 (f'_c)^{0.5} \text{ (Calo, 2012).}$$

- Resistencia de la Sub-rasante

Las sub-bases se recomiendan con el objeto de prevenir el fenómeno del bombeo, sin embargo su presencia tiene como consecuencia un incremento en la capacidad de soporte del pavimento que se puede aprovechar para efectos de diseño porque puede disminuir en algo el espesor de la losa. En la tabla 14 se muestra el incremento que es de esperar en el módulo si se coloca una sub-base granular y en la tabla 15 el que se logra con una sub-base tratada con cemento.

- Drenaje

Según la metodología AASHTO, drenaje es el proceso de evacuación del agua de infiltración, sea esta, superficial o subterránea de los suelos o rocas por medios naturales o artificiales.

En el diseño de pavimentos, el drenaje es uno de los factores primordiales, ya que el agua es el principal causante del deterioro en la estructura del pavimento.

Estos efectos se pueden minimizar mediante:

- Drenaje superficial.
- Drenaje subterráneo.

- Construir pavimento resistente a la combinación de agua y cargas.

El ingreso del agua a la estructura del pavimento es inevitable, pero para evitar daños, es necesario instalar sub drenes que permitan evacuar esta agua.

Los drenajes pueden estar hechos con tubería perforada, ranurada o de junta abierta y protegidos con agregados o geo textiles, los cuales funcionan como filtro para evitar que la tubería se tape y el agua no fluya.

El método AASHTO 93 considera los efectos del drenaje en el pavimento mediante el coeficiente (C_d), el cual varía en función de las propiedades de la estructura del pavimento para evacuar el agua entre sus granos y el tiempo durante la estructura está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla #5

Valores recomendados del coeficiente de drenaje (C_d) para el diseño.

C_d	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50 % de su agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación.			
		< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Excelente	2 horas	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1 día	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1 semana	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Pobre	1 mes	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy pobre	Nunca	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

(Calo, 2012).

- Confiabilidad

Para el método AASHTO, la confiabilidad está relacionada con la aparición de fallas en el pavimento, por lo tanto, es la probabilidad del pavimento en comportarse de manera correcta es decir tener la capacidad estructural y funcional durante su vida útil o período de diseño, bajo el efecto de condiciones de tráfico y agentes externos, esto quiere decir la capacidad de

las cargas impuestas por el tránsito y así ofrecer seguridad y confort al usuario.

Puede definirse en términos ESALs (Equivalent Single Axle Load) como:

$$R(\%) = 100P(N_t > N_T)$$

Siendo:

N_t = Número de ESALs de 80 kN que llevan al pavimento a su serviciabilidad final.

N_T = Número de ESALs de 80 kN previstos que actúan sobre el pavimento en su periodo de diseño. (Vida útil).

Si N_T es menor a N_t la vida útil del pavimento se acortará.

Si se alteran ciertos parámetros en una construcción podría afectar gravemente especialmente los relacionados con:

- Variaciones de las propiedades de los materiales.
- Variaciones en localización de pasadores en juntas y profundidad de armadura.
- Variación entre datos de diseños y datos reales.

Para evitar todo este tipo de variaciones que producen el desarrollo de fallas, rugosidades y déficit de vida útil, se necesita una variable (S0 – Desviación Estándar) que asegure el comportamiento adecuado durante su vida útil.

Tabla #6

Valores para la desviación estándar (BECERRA-SALAS, 2013).

CONDICIÓN DE DISEÑO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S _o)	
	Pavimento Rígido	Pavimento Flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.34	0.44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39	0.49

Para la elección del nivel de confiabilidad se toma en cuenta dos aspectos:

- Grado de importancia de la carretera: Este factor se relaciona con el uso que este brinde.

Tabla #7

Niveles de confiabilidad (BECERRA-SALAS, 2013).

Tipo de camino	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

- Optimizar el espesor del pavimento: En cuanto mayor sea el espesor mejor servicio brindará con bajos costos de mantenimiento pero costo inicial alto y viceversa.

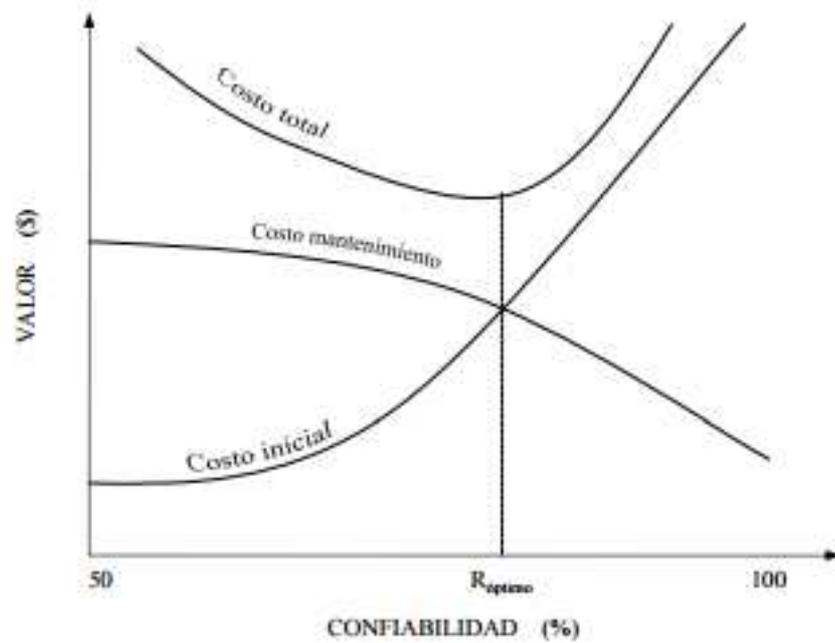


Fig. #8.- Nivel óptimo de confiabilidad.

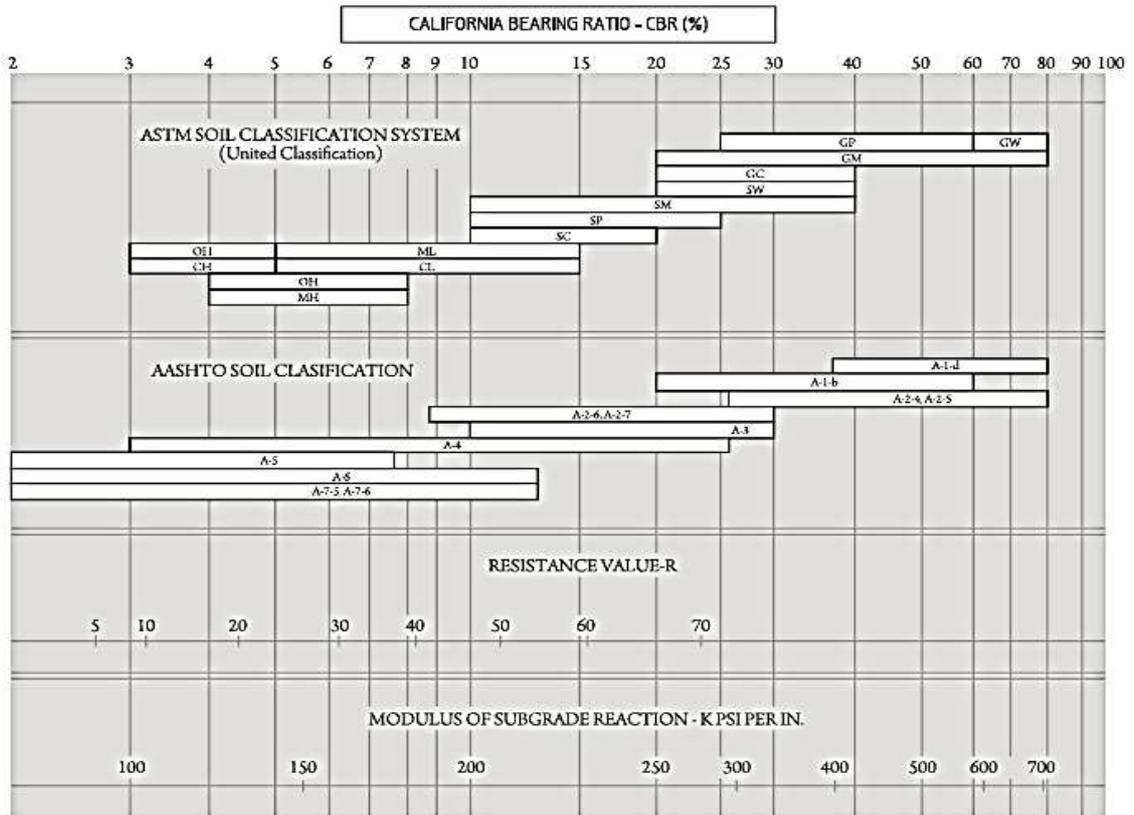
4.3.2 METODO DE DISEÑO DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION PCA: THICKNESS DESIGN FOR CONCRETE HIGHWAY AND STREET PAVEMENTS

La Portland Cement Association (PCA) describe los lineamientos generales de su método para el diseño de pavimentos rígidos como detallamos a continuación:

Una vez definido el tipo de pavimento de hormigón, tipo de base y berma, se determina el espesor de diseño basado en: resistencia a flexo tracción del hormigón y la capacidad de soporte conjunta de la sub-rasante y de la base.

Tabla #8

Relación aproximada entre las clasificaciones del suelo y sus valores de resistencia.



Fuente: PAVIMENTOS DE CONCRETO CEMEX - Impulsando el Desarrollo de México

Tabla #9

Incremento en el valor k del suelo, según el espesor de la base granular

k Suelo – Sub base (pci)

k del Suelo (pci)	Espesor de la sub- base			
	4"	6"	9"	12"
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Fuente: PAVIMENTOS DE CONCRETO CEMEX - Impulsando el Desarrollo de México

Tabla #10

Incremento en el valor k del suelo, según el espesor de la base granular cementada

k Suelo – Sub base (pci)				
k del Suelo (pci)	Espesor de la sub- base			
	4"	6"	8"	10"
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	-

Fuente: PAVIMENTOS DE CONCRETO CEMEX - Impulsando el Desarrollo de México.

- Periodo de diseño se encuentra alrededor de veinte años.
- Número de repeticiones esperadas para cada eje, para poder conocer estos valores tendremos que conocer varios factores referentes al tránsito como lo es el tránsito promedio diario anual (TPDA), el % que representa cada tipo de eje en el TPDA, el factor de crecimiento del tráfico, el factor de sentido, el factor de carril y el periodo de diseño. Las repeticiones esperadas se definen por la fórmula:

$$Re = TPDA \times \%Te \times FCA \times FS \times FC \times Pd \times 365$$

Dónde:

TPDA = Tránsito Promedio Diario Anual.

% Te = % del TPDA para cada tipo de eje.

FCA = Factor de Crecimiento Anual.

FS = Factor de Sentido.

FC = Factor de Carril.

Pd = Período de Diseño.

365 = Días de un año.

Tabla #11

Factores de Crecimiento Anual, según la tasa de crecimiento anual

Tasas de Crecimiento Anual de Tráfico y sus correspondientes factores de crecimiento		
Tasa de Crecimiento Anual del Tráfico, %	Factor de Crecimiento Anual para 20 años	Factor de Proyección Anual para 40 años
1	1.1	1.2
1 ½	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2 ½	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3 ½	1.4	2.0
4	1.5	2.2
4 ½	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5 ½	1.7	2.9
6	1.8	3.2

Fuente: PAVIMENTOS DE CONCRETO CEMEX - Impulsando el Desarrollo de México

El factor de sentido se emplea para diferenciar las vialidades de un sentido de las de doble sentido, de manera que para vialidades en doble sentido se utiliza un factor de sentido de 0.5 y para vialidades en un solo sentido un factor de 1.0.

El factor de carril nos va a dar el porcentaje de vehículos que circulan por el carril de la derecha, que es el carril con más tráfico. Para esto, la PCA recomienda emplear la figura 1 en donde este factor depende del número de carriles por sentido o dirección del tráfico y del tránsito promedio diario anual en un solo sentido.

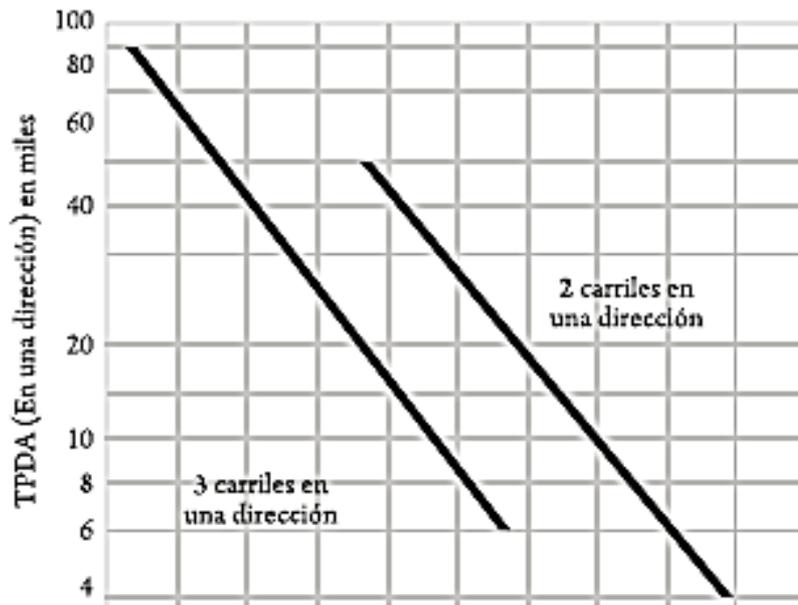


Figura #9.- Proporción de Vehículos circulando por el carril de baja velocidad en una vialidad de 2 o 3 carriles Fuente: PAVIMENTOS DE CONCRETO CEMEX - Impulsando el Desarrollo de México

El Factor de Seguridad de Carga, se aplica una vez que se conoce la distribución de carga por eje, es decir ya que se conoce cuantas repeticiones se tendrán para cada tipo y peso de eje, se utiliza el factor de seguridad de carga para multiplicarse por las cargas por eje.

En este método se desarrollan dos procedimientos de cálculo distintos según haya datos o no del número y tipo de ejes pesados. En el caso de que se conozcan los mismos, las cargas por eje se multiplican por un "factor de seguridad de carga" (L.S.F.) que toma los siguientes valores (DISEÑO DE PAVIMENTOS PCA, 2012).

- L-S-F- = 1,2 Para pavimentos de varios carriles, con tránsito ininterrumpido y elevada intensidad de tránsito pesado (DISEÑO DE PAVIMENTOS PCA, 2012).
- L-S-F- = 1,1 Para carreteras y calles arteriales con una moderada intensidad de tránsito pesado (DISEÑO DE PAVIMENTOS PCA, 2012).

- L-S-F- = 1,0 Para carreteras, calles residenciales u otro tipo de calles con poco tránsito pesado (DISEÑO DE PAVIMENTOS PCA, 2012).

En casos especiales puede justificarse el uso de un L-S-F- > 1,2, sobre todo cuando se quiere una seguridad más alta de lo normal, a fin de reducir las posibles interrupciones de tránsito los gastos de conservación (DISEÑO DE PAVIMENTOS PCA, 2012).

Una vez que ya se tiene los datos del tráfico esperado, como lo es el tránsito diario promedio anual, la composición vehicular del tráfico y de esta información obtenemos el número de repeticiones esperadas para cada tipo de eje durante el período de diseño.

El método considera dos criterios de diseño: Fatiga y Erosión.

El Análisis por fatiga (para controlar el agrietamiento por fatiga) influye principalmente en el diseño de pavimentos de tráfico ligero (calles residenciales y caminos secundarios independientemente de si las juntas tienen o pasa juntas) y pavimentos con tráfico mediano con pasa juntas en las juntas.

El Análisis por erosión (el responsable de controlar la erosión del terreno de soporte, bombeo y diferencia de elevación de las juntas) influye principalmente el diseño de pavimentos con tráfico mediano a pesado con transferencia de carga por trabazón de agregados (sin pasa juntas) y pavimentos de tráfico pesado con pasa juntas.

Finalmente el diseño del espesor se calcula por tanteos con ayuda del formato de diseño de espesores por el método de la PCA que para el caso utiliza varias tablas y gráficos que relacionan esfuerzos en los pavimentos y factores de erosión.

4.3.3 MTOP - Ministerio de Transporte y Obras Públicas

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP hace varias referencias y especificaciones con relación a las bases estabilizadas con cemento y las bases granulares Clase 1A, las cuales se detalla a continuación:

Sobre las bases granulares Clase 1:

Son bases constituidas por agregados gruesos y finos, triturados que producen fragmentos limpios, resistentes y durables sin partículas alargadas o planas en exceso y graduados dentro de los límites granulométricos. Estarán exentos de material vegetal, grumos de arcilla u otro material objetable. Los aridos empleados deberán gradarse uniformemente de grueso a fino cumpliendo con la granulometría, el arido grueso no representarán un porcentaje a la degradación mayor a 40% .

Existen recomendaciones para el uso de los diferentes tipos de material base como se representa a continuación:

Tabla #12

Recomendaciones para uso de material de base

MATERIAL ESPECIFICADO	TIPO DE CARRETERA	Nº CARRILES	TDPA
BASE CLASE 1	Para uso principales en aeropuertos y carreteras con intenso nivel de tráfico	8 a 12	>50.000
BASE CLASE 2	Carreteras de 2 hasta 6 carriles con un ancho mínimo por carril de 3.65m. Se incluye franja central desde 2 a 4m	2 a 6	8.000 50.000
BASE CLASE 3	Vías internas de urbanizaciones con bajo nivel de tráfico	2 a 4	1.000 – 8.000
BASE CLASE 4	Caminos vecinales	2	< 1.000

Fuente: Manual NEVI-12 Volumen 3, Capítulo 400 Estructura del Pavimento, Sección 404 Bases, 404-1 Bases de Agregados 404-1.02 Materiales

En cuanto al limite liquido del material que pase por el tamiz N° 40 debe ser menor a 25 y el indice de plasticidad inferior a 6, mientras que el porcentaje de desgaste por abrasión será menor del 40% y el CBR mayor igual al 80% (NEVI-12 - MTOP, 2013).

Tabla#13

Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 1 base (NEVI-12 - MTOP, 2013).

TAMIZ		BASE CLASE 1 TIPO A		BASE CLASE 1 TIPO B	
		Min.	Máx.	Min.	Máx.
2"	50 mm		100		100
1 ½"	37.5 mm	70	100	70	100
1"	25 mm	55	85	60	90
¾"	19 mm	50	80	45	75
3/8"	9.5 mm	35	60	30	60
Nº 4	4.75 mm	25	50	20	50
Nº 10	2 mm	20	40	10	25
Nº 40	0.425 mm	10	25	2	12
Nº 200	0.075 mm	2	12		

Fuente: Manual NEVI-12 Volumen 3, Capítulo 400 Estructura del Pavimento, Sección 404 Bases, 404-1 Bases de Agregados, 404-1.02 Materiales

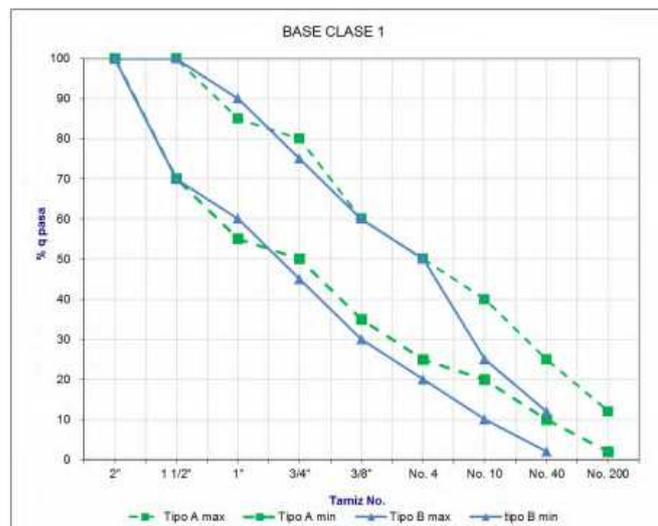


Fig. #10.- Curva granulométrica Base Clase 1 (tipo A y B) Manual NEVI-12 Volumen 3, Capítulo 400 Estructura del Pavimento, Sección 404 Bases, 404-1 Bases de Agregados, 404-1.06 Medición y pago.

Resulta importante la selección del material a utilizarse ya que al mezclar fracciones individuales de agregados finos, gruesos y ligantes se necesita obtener una mezcla uniforme que cumpla con las granulometrías correspondientes y límites de consistencia. Al conseguir una mezcla uniforme se esparce a lo largo de la vía con espesor uniforme para luego proceder a la conformación y compactación por medio de rodillos lisos de 8 a 12 toneladas o vibratorios respetando pendientes, alineaciones y sección transversal del diseño, este proceso se ejecutará hasta estabilizar alcanzando compactación mínimo del 100% de la densidad seca máxima obteniendo superficies sin variaciones de cota mayor que +0,0 y -2,0 cm aceptando tolerancias de $CBR \geq 80\%$. Para el control de compactación la densidad seca promedio (D_m) valor obtenido n ensayos de densidad seca en el terreno se deberá compara con la máxima (D_e):

Si $D_m - (k \times s) \geq 0,95 D_e$, entonces se acepta el lote

Donde $D_m = \sum D_i / n$

Siendo D_i resultado de un ensayo y n el número de ensayos de densidad seca en el terreno que integran la muestra y k el factor que establece el límite inferior del intervalo de confianza ene l que con probabilidad del 90% se encuentra la densidad seca en el terreno dependiendo del número de ensayos (n) que integran la muestra.

Tabla. #14

Valores del factor k

n	5	6	7	8	9	10
k	0.685	0.602	0.544	0.500	0.465	0.437

Fuente: Manual NEVI-12 Volumen 3, Capítulo 400 Estructura del Pavimento, Sección 404 Bases, 404-1 Bases de Agregados, 404-1.05 Ensayos y Tolerancias.

La granulometría del material será verificada mediante ensayos que se muestran a continuación.

Tabla. #15

Verificaciones periódicas de calidad de los materiales (NEVI-12 - MTOP, 2013).

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO	FRECUENCIA
Granulometría	NTE INEN 696 Y 697	1 vez por jornada
Límite Líquido	ASTM D 4318	1 vez por jornada
Índice de Plasticidad	ASTM D 4318	1 vez por jornada
Equivalente de Arena	ASTM D 1998	1 vez por jornada
Densidad seca máxima	ASTM D 698 Y 1557	1 vez por jornada

Fuente: Manual NEVI-12 Volumen 3, Capítulo 400 Estructura del Pavimento, 404-1 Bases de Agregados, 404-1.05 Ensayos y Tolerancias.

Según el tipo de base se aceptan diferentes tipos de tolerancia

Tabla. #16

Tolerancias granulométricas para material de base (NEVI-12 - MTOP, 2013).

TAMIZ	TOLERANCIA EN PUNTOS DE PORCENTAJE SOBRE EL PESO SECO DE LOS AGREGADOS
% pasa tamiz de 9.5 mm (3/8") y mayores	$\pm 7\%$
% pasa tamiz de 4.75 mm (N° 4) a 0.425mm (N° 40)	$\pm 6\%$
% pasa tamiz 0.075mm (N°200)	$\pm 3\%$

Fuente: Manual NEVI-12 Volumen 3, Capítulo 400 Estructura del Pavimento, 404-1 Bases de Agregados, 404-1.05 Ensayos y Tolerancias.

Con relación a las bases estabilizadas con cemento el MTOP define en:

Las bases estabilizadas con cemento consisten en la construcción de capas de base formada por agregados triturados o tamizados, o ambos, de cemento y agua. La capa de base se coloca sobre una sub base previamente humedecida con su adecuada pendiente y sección transversal, libre de cualquier material extraño. Está constituida de cemento hidráulico. En todo caso los agregados deberán hallarse uniformemente graduados dentro de los límites granulométricos indicados en la Tabla 17 para el agregado grueso y el agregado fino.

Tabla #17

Granulometría de la base a ser modificada

TAMIZ		Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
		Agregado grueso	Agregado fino
2"	50 mm	100	
1 ½"	37.5 mm	95 – 100	-
¾"	19 mm	40 – 100	-
Nº 4	4.75 mm	0 – 5	80 – 100
Nº 10	2 mm	-	50 – 85
Nº 40	0.425 mm	-	15 – 45
Nº 200	0.075 mm	-	0 – 10

Fuente: Manual NEVI-12 Volumen 3, Capítulo 400 Estructura del Pavimento, 404- Bases de estabilizadas con cemento hidráulico, 404-2.0 Materiales

Bajo los delineamientos de la NEVI 2012 los cementos hidráulicos deben cumplir con las normas

- NTE INEN 152, Cemento Portland Requisitos.
- NTE INEN 490, Cementos Hidráulicos compuestos. Requisitos.
- NTE INEN 2380, Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño.

El material que hace la diferencia en este tipo de base es el cemento Portland también conocido como cemento hidráulico procedente de la pulverización de Clinker compuesto básicamente en silicatos cálcicos hidráulicos cristalinos y contiene agua, sulfato de calcio, hasta 5% de piedra caliza y adiciones de proceso.

La preparación de la mezcla para la base se podrá realizar en planta o en sitio según se requiera una vez efectuado el tendido y la conformación de la capa de base se debe realizar la compactación la cual tiene un tiempo aproximado de dos horas a partir del mezclado e hidratación final si por alguna razón permanece más de dos horas esta deberá ser removida y desalojada.

Esta capa no será mayor a 15 cm ya que si fuera mayor la construcción deberá dividirse en capas de espesor de espesores semejantes. Durante el proceso de compactación se deberá humedecer ligeramente el material para así lograr la compactación total en toda la profundidad de la capa. Al finalizar la compactación cumpliendo con los estándares requeridos se debe proteger la base contra el secado prematuro mediante un riego de asfalto diluido de curado rápido o de asfalto emulsionado la cantidad oscila entre 0,50 a 0,80 litros por metro cuadrado durante este proceso se prohíbe la circulación vehicular por 48 horas luego de esto se cubre la base con arena por 7 días, para proteger el riego asfáltico permitiendo la circulación vehicular con control y restricciones.

Los ensayos que se deben realizar son:

- Ensayo INEN 696 y 697 (AASHTO T-11 y T-27): Comprobar granulometría de la mezcla.
- Ensayo de densidad máxima y Humedad Óptima (AASHTO T-134) (AASHTO T-147 o T-191) Comprobar calidad de construcción de la capa base.
- Ensayo AASHTO T-176: Comprobar el contenido de partículas finas plásticas.
- Ensayo AASHTO T-211: Comprobar contenido de cemento en la mezcla.

- Ensayos de compresión simple: Comprobar resistencias superiores a 2,45 MPa.

4.4 VENTAJAS Y USOS DE BEC Y BASES GRANULARES

Beneficios de una base estabilizada con cemento:

- Permite el reciclar de pavimentos duramente dañados.
- Permite el uso de materiales que no cumplen con las especificaciones técnicas para base granular especialmente en zonas donde no se cuenta con buenas fuentes de agregados (PITRA, 2011).
- Resulta más económico principalmente por los costos de mantenimiento casi nulos (en ocasiones sólo se requiere subsanar detalles de sellado de juntas a intervalos de 5 a 10 años) mientras que el pavimento asfáltico requiere mayor mantenimiento.
- Proveer soporte fuerte y uniforme para el pavimento.
- Previene la consolidación de sub - base bajo tráfico.
- Mejora transferencia de carga en Juntas del pavimento.
- Ayuda a controlar sub rasantes expansivas.
- Previene bombeo de sub rasante.
- Previene infiltración de sub rasante en sub -base.
- Minimiza la introducción de partículas granulares en juntas del pavimento.
- Mayor durabilidad de las vías de comunicación.
- Desarrollo sustentable mediante la preservación del medio ambiente
- Incremento de sus propiedades mecánicas
- Poco susceptible a condiciones climáticas.
- Permite el uso de varios tipos de suelos evitando el uso adicional de diferentes fuentes de materiales.
- Mayor durabilidad de los materiales utilizados que permitan estructuras de pavimentos con mayor capacidad de soporte y resistentes a los agentes atmosféricos.

- Que su construcción contemple materiales que reduzcan los costos de acarreo de materiales alternos y contribuyan a la protección del medio ambiente, usando materiales disponibles y evitando en lo posible la explotación masiva de bancos de materiales de préstamo.
- Menor tiempo y costo de construcción y conservación, por el uso de materiales que permiten optimizar los espesores de las capas que conforman la estructura de los pavimentos sin disminuir la capacidad estructural de los mismos.
- Altos índices de servicio por su mayor rigidez y mejor distribución de las cargas aplicadas al pavimento.

El uso de la técnica de estabilización con cemento es muy amplia, por ejemplo:

- Para mejorar los índices de plasticidad y la capacidad de soporte (CBR) de los materiales (suelos y agregados). En el rango de valores altos de plasticidad la cal suele ser más efectiva. Algunas recomendaciones para aplicar la alternativa del cemento son (PITRA, 2011).
 - IP sea menor que 30 para suelos arenosos (PITRA, 2011).
 - IP sea menor a 20 y el LL menor a 40 para suelos de grano fino (más limosos) (PITRA, 2011).
 - Para agregados tipo gravas que el porcentaje que pasa la malla 4 sea mayor a 45, y que adicionalmente el $IP \leq 20 + (0.25)(50 - \% \text{pas.No.4})$ (PITRA, 2011).
 - Para materiales que contengan menos de un 35% pas.No.200, y que el IP sea menor a 20 (PITRA, 2011).
 - En el caso de los suelos tipo A-4, A-5, A-6, y A-7 (clasificación AASHTO), suele ser más conveniente estabilizarlos con cal (PITRA, 2011)
- Base de Pavimentos.
- Protección de Taludes.

- Recubrimientos en donde se requiera baja permeabilidad
- Estabilización de cimientos
- Para incorporar en el pavimento agregados que no cumplen especificaciones para base granular (PITRA, 2011).
- Permite construir capas de base de alta resistencia y altos valores de módulo, aportando resistencia estructural al pavimento. Inclusive se puede colocar una capa asfáltica de rodamiento de poco espesor sometida a esfuerzos de compresión, con el consecuente incremento en la capacidad a fatiga del paquete estructural (PITRA, 2011).
- Permite utilizar materiales degradables (meteorizables).
- Especialmente en climas lluviosos aportan una alta resistencia a la socavación en bordes y esquinas en las losas de los pavimentos de concreto, lo cual sumado a los altos módulos de estas bases permiten diseñar losas de concreto de menor espesor, superando con mucho el desempeño que en este caso presentan las bases granulares (PITRA, 2011).
- En condiciones de alta saturación la resistencia de la base tiende a aumentar, lo que la hace muy apropiada en zonas de alto nivel freático o de alta precipitación (PITRA, 2011).
- Estas bases no presentan los problemas de deformación permanente, típicos de las bases granulares. Estructuralmente tiene una respuesta elástica ante las cargas del tránsito, diferente a la respuesta no lineal de las capas granulares (módulo dependiente del nivel de esfuerzos) (PITRA, 2011).

Beneficios de una base granular:

- El tiempo efectivo se relaciona con la capacidad de reparar , por lo tanto baches, estacionamientos dañados y calzadas se arreglan en menor tiempo.
- El pavimento de asfalto tiene menor costo inicial
- El asfalto es comparativamente menos propenso al desgaste en el tiempo.

- Material flexible utilizable para cualquier tipo de trabajo de pavimentación y construcción.
- Larga durabilidad y resistencia de clima.

Usos:

- Se usa ampliamente en los sectores comerciales y residenciales para trabajos de construcción y restauración.
- Pavimentos

5. COMPARACIONES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS DE BEC Y BASES GRANULARES

En vialidad, durante el ciclo de vida, los pavimentos están sometidos no solo a la sollicitación del tránsito vehicular y de los agentes atmosféricos sino también están expuestos a los procesos de instalación, reparación y rehabilitación del sistema de drenaje. Para evitar que estos efectos sobre el pavimento se conviertan en daños irreversibles, es necesario efectuar un adecuado mantenimiento que dependerá de la solución seleccionada y en su evaluación económica será necesario considerar, además del costo de construcción, el costo de mantenimiento.

Para este tipo de diseños resulta indispensable tomar en cuenta que el costo inicial de una carretera es visto sólo como parte del costo total del proyecto, por lo que se considera el concepto “costo del ciclo de vida”.

Como concepto el “costo de ciclo de la vida” también conocido como el “valor del dinero en el tiempo” es el cambio en la cantidad de dinero durante un periodo dado de tiempo facilitando las comparaciones económicas y es una herramienta de ayuda para la toma de decisiones. Siempre trabaja bajo el uso de alternativas. Las alternativas comprenden aspectos tales como:

- Precio de compra de un activo (costo inicial),
- Vida útil anticipada de un activo,
- Costos anuales de operación del activo,
- Valor anticipado de reventa del activo (valor de salvamento) y,
- Tasa de interés.

En nuestro caso de estudio incluirán:

- Costos de construcción inicial: Costo total del proyecto al momento de su inauguración.
- Costos de conservación: Reparaciones, rehabilitaciones, ampliaciones y modernizaciones.
- Costos del usuario: Operación de los vehículos, consumo de combustible, composturas, tiempos de recorrido y accidentes.

Para comparar las alternativas usa el dinero como base de comparación seleccionando la alternativa con menor costo global.

Para nuestro análisis vamos a iniciar definiendo unas condiciones básica de la vía tipo a analizar, por lo que diremos que el análisis se hará por una longitud de 1 kilómetro y para una vía de 3.65 m de ancho.

Los costos de construcción y mantenimiento son los siguientes:

a) Construcción

Para calcular los costos de construcción, se van a elaborar APUS - análisis de precios unitarios de los diversos elementos que constituyen la estructura del pavimento, de acuerdo con el equipo, mano de obra y materiales requeridos, así como también, del rendimiento estimado. **(Ver Anexo # 1)**

Tabla #18

Resumen de análisis de precios unitarios por m3

Análisis Precios Unitarios	Unidad	Costos Unitario
Base clase 1A (e 20cm)	m3	\$19,29
Base clase 1A estabilizada con cemento (e 20cm)	m3	\$36,11
Hormigón para pavimento Módulo de Rotura 4.5 MPa	m3	\$126,74
Suelo estabilizado con cemento	m3	\$18,14

b) Mantenimiento

Un método usual, para evaluar los costos de mantenimiento, consiste en estimarlos como un porcentaje anual del costo inicial de construcción; porcentaje que varía dependiendo del tipo de pavimento. Se va a adoptar valores promedios de mantenimiento, usuales en España y América, así como también, los valores de los refuerzos que, en zonas tropicales y en cada caso, se considera necesario colocar sobre el pavimento original, durante un periodo de diseño de 25 años.

Para el desarrollo de esta monografía y poder realizar una comparación económica del uso de Bases Granulares y Bases Estabilizadas con cemento se va a plantear los siguientes casos:

Pavimento rígido con Base Granular 1A y una BEC Base Estabilizada con Cemento

a) Mantenimiento: 0,3% anual del costo de construcción.

b) Refuerzo: ninguno.

Las siguientes tablas resumen los costos por m3 de Pavimento rígido con Base Granular 1A y una BEC Base Estabilizada con Cemento para 3 diferentes tipos de suelo y 3 tipos diferentes de condiciones de tráfico.

Tabla #19.

Resumen Costo de Construcción por m3 para Pavimento rígido con Base Granular 1A. (Ver anexo #2)

Condición de Tráfico ESALs (Mio)	Costo de Construcción por m3		
	Alto 12 Mio	\$156,827	\$154,514
Medio 6 Mio	\$140,831	\$138,518	\$136.208
Bajo 2 Mio	\$120,138	\$117,824	\$113.871
Tipo Suelo expresado como CBR	Bajo 2%	Medio 4%	Excelente 8%

Tabla #20

Resumen Costo de Construcción por m3 para Pavimento rígido con BEC Base Estabilizada con Cemento. (Ver anexo #2)

Condición de Tráfico ESALs (Mio)	Costo de Construcción por m3		
	Alto 12 Mio	\$153,108	\$148,482
Medio 6 Mio	\$137,040	\$132,414	\$130.101
Bajo 2 Mio	\$116,893	\$112,267	\$105,122
Tipo Suelo expresado como CBR	Bajo 2%	Medio 4%	Excelente 8%

Se puede observar que al incluir el uso de cemento en las bases estabilizadas aumenta el costo inicial pero así mismo permite reducir el espesor de la losa del pavimento.

Tabla #21

Resumen espesor de losa para Pavimento rígido con Base Granular 1A (VER ANEXO #3)

Condición de Tráfico ESALs (Mio)	Espesor de losa en cm		
	Hormigón pavimento-MR 4.5MPa		
Alto 12 Mio	28.0	27.5	27.0
Medio 6 Mio	25.0	24.5	24.0
Bajo 2 Mio	21.0	20.5	20.0
Tipo Suelo expresado como CBR	Bajo 2%	Medio 4%	Excelente 8%

Tabla #22

Resumen espesor de losa para Pavimento rígido con BEC Base Estabilizada con Cemento (VER ANEXO #3)

Condición de Tráfico ESALs (Mio)	Espesor de losa en cm		
	Hormigón pavimento-MR 4.5MPa		
Alto 12 Mio	25.0	24.0	23.5
Medio 6 Mio	22.0	21.0	20.5
Bajo 2 Mio	18.0	17.0	16.0
Tipo Suelo expresado como CBR	Bajo 2%	Medio 4%	Excelente 8%

Con esta información se hará un cálculo económico basado en un horizonte de vida de 25 años pero utilizando valores anuales uniformes equivalentes (CAUE) y un costo de dinero de $i = 10\%$; utilizaremos mediante los factores múltiples la siguiente fórmula

Recuperación de capital:
$$\left(\frac{A}{P}, i\%, n\right) = \frac{i(1+i)^n}{((1+i)^n)-1}$$

Donde:

A= Una serie consecutiva y periódica (mensual, anual) de cantidades iguales de dinero al final del periodo; \$ por año; \$ por mes, etc.

P=Valor o suma de dinero en un tiempo señalado como el presente; dólares

i= tasa de interés por periodo de interés; %por mes; % por año.

n= Número de periodos de interés en meses, años, etc

En este caso obtenemos un valor de $(A/P, 10\%, 25) = 0.110168$

Tabla #23

Costo Anual Uniforme Equivalente para un tipo de suelo bajo CBR 2% en un Pavimento rígido con Base Granular 1A

Condición de Tráfico ESALs (Mio)	Costo Construcción	Costo Mantenimiento	Factor A/P	Costo Total Anualizado Equivalente \$/m3
Alto 12 Mio	\$156,82	\$0,47	0,110168	\$ 17,33
Medio 6 Mio	\$140,83	\$0,42	0,110168	\$ 15,56
Bajo 2 Mio	\$120,13	\$0,36	0,110168	\$ 13,27

Tabla #24

Costo Anual Uniforme Equivalente para un tipo de suelo bajo CBR 2% en un para Pavimento rígido con BEC Base Estabilizada con Cemento

Condición de Tráfico ESALs (Mio)	Costo Construcción	Costo Mantenimiento	Factor A/P	Costo Total Anualizado Equivalente \$/m3
Alto 12 Mio	\$ 153,11	\$0,47	0,110168	\$ 16,92
Medio 6 Mio	\$ 137,04	\$0,42	0,110168	\$ 15,14
Bajo 2 Mio	\$ 116,89	\$0,36	0,110168	\$ 12,92

Tabla #25

Costo Anual Uniforme Equivalente para un tipo de suelo medio CBR 4% en un Pavimento rígido con Base Granular 1A.

Condición de Tráfico ESALs (Mio)	Costo Construcción	Costo Mantenimiento	Factor A/P	Costo Total Anualizado Equivalente \$/m3
Alto 12 Mio	\$154.51	\$0,47	0,110168	\$ 17,07
Medio 6 Mio	\$138.51	\$0,42	0,110168	\$ 15,31
Bajo 2 Mio	\$117.82	\$0,36	0,110168	\$ 13,02

Tabla #26

Costo Anual Uniforme Equivalente para un tipo de suelo medio CBR 4% en un para Pavimento rígido con BEC Base Estabilizada con Cemento

Condición de Tráfico ESALs (Mio)	Costo Construcción	Costo Mantenimiento	Factor A/P	Costo Total Anualizado Equivalente \$/m3
Alto 12 Mio	\$148.48	\$0,47	0,110168	\$ 16,41
Medio 6 Mio	\$132.41	\$0,42	0,110168	\$ 14,63
Bajo 2 Mio	\$112.27	\$0,36	0,110168	\$ 12,41

Tabla #27

Costo Anual Uniforme Equivalente para un tipo de suelo excelente CBR 8% en un Pavimento rígido con Base Granular 1A.

Condición de Tráfico ESALs (Mio)	Costo Construcción	Costo Mantenimiento	Factor A/P	Costo Total Anualizado Equivalente \$/m3
Alto 12 Mio	\$152.20	\$0,47	0,110168	\$ 16,82
Medio 6 Mio	\$136.20	\$0,42	0,110168	\$ 15,05
Bajo 2 Mio	\$113.86	\$0,36	0,110168	\$ 12,58

Tabla #28

Costo Anual Uniforme Equivalente para un tipo de suelo excelente CBR 8% en un para Pavimento rígido con BEC Base Estabilizada con Cemento

Condición de Tráfico ESALs (Mio)	Costo Construcción	Costo Mantenimiento	Factor A/P	Costo Total Anualizado Equivalente \$/m3
Alto 12 Mio	\$146.17	\$0,47	0,110168	\$ 16,16
Medio 6 Mio	\$130.10	\$0,42	0,110168	\$ 14,38
Bajo 2 Mio	\$105.12	\$0,36	0,110168	\$ 11.62

Camino vecinal hecho con lastre de río sin estabilizar y otro con el mismo lastre pero estabilizado

a) Mantenimiento: 0,6% anual del costo de construcción.

b) Refuerzo: Recapeo de 5 cm por c/ 2 años.

Las siguientes tablas resumen los costos por m3 de Camino vecinal hecho con lastre de río sin estabilizar con Base Granular 1A y otro con el mismo lastre pero estabilizado con Cemento para suelo natural y con condiciones de tráfico bajo.

Tabla #29

Resumen Costo de Construcción por m3 para Pavimento rígido con Base Granular 1A Camino Lastrado. (Ver anexo #4)

Con Condición de Tráfico Bajo	Costo de Construcción por m3
Base Granular Clase 1A	\$3,86
Base Granular Clase 1A (con doble riego asfáltico)	\$8,16

Tabla #30

Resumen Costo de Construcción por m3 para Pavimento rígido con Base Estabilizada con cemento

Con Condición de Tráfico Bajo	Costo de Construcción por m3
Suelo Estabilizado con Cemento (e=20cm)	\$3,63
Suelo Estabilizado con Cemento (e=20cm) (con doble riego asfáltico)	\$5,78

Estos casos serán analizados utilizando sus costos en un horizonte de vida de 4 años y trayendo sus costos a Valor Presente considerando una tasa $i=10\%$ como costo del dinero en el tiempo.

En este caso obtenemos un valor de $(A/P, 10\%, 4)=0.315471$

Tabla #31

Costo Anual Uniforme Equivalente para un Pavimento rígido con Base Granular 1A Camino Lastrado

Con Condición de Tráfico Bajo	Costo de Construcción por m3	Costo de Mantenimiento	Factor A/P	Costo Total Anualizado Equivalente \$/m3
Base Granular Clase 1A	\$3,86	2,316	0.315471	1,95
Base Granular Clase 1A (con doble riego asfáltico)	\$8,16	4,896	0.315471	4,12

Tabla #32

Costo Anual Uniforme Equivalente para un Pavimento rígido con Base Estabilizada con cemento

Con Condición de Tráfico Bajo	Costo de Construcción por m3	Costo de Mantenimiento	Factor A/P	Costo Total Anualizado Equivalente \$/m3
Suelo Estabilizado con Cemento (e=20cm)	\$3,63	2,178	0.315471	1,83
Suelo Estabilizado con Cemento (e=20cm) (con doble riego asfáltico)	\$5,78	3,468	0.315471	2,92

6. CONCLUSIONES

El análisis financiero realizado mediante el uso de costos de mantenimiento, estimados como un porcentaje anual del costo inicial de construcción; en este trabajo se adoptaron valores promedios, así como también, los valores de los refuerzos analizados durante un periodo de diseño de 25 años, dieron como resultado los siguientes ahorros aproximados:

En caso de Suelos de baja calidad CBR=2% se registraron disminuciones desde 3 cm en el espesor del hormigón de la calzada sometidos a tráfico liviano, medio y alto dando como un ahorro promedio de \$110 m³/km, considerando un carril estándar.

En caso de Suelos de media calidad CBR=4% se registraron disminuciones desde 3.5 cm en el espesor del hormigón de la calzada sometidos a tráfico liviano, medio y alto dando como un ahorro promedio de \$128 m³/km, considerando un carril estándar.

En caso de Suelos de buena calidad CBR=8% se registraron disminuciones desde 3.5 cm en el espesor del hormigón de la calzada sometidos a medio y alto dando como un ahorro promedio de \$128 m³/km, considerando un carril estándar; pero en el caso del tráfico liviano se registró una reducción de hasta 4 cm dando como ahorro aproximado \$145 m³/km.

También se pudieron obtener promedios de reducción de espesores de losa, en cuanto a tráfico liviano se registró 17,10%; en tráfico medio con 13,6% y en caso de tráfico altos un equivalente a 12,10%

El control en campo es básico e indispensable ya que en algunos casos no se logra obtener las condiciones del diseño de laboratorio por varios

factores, entonces la dosificación, el porcentaje de cemento debe ser el indicado sin excesos ya que eso puede ocasionar el daño por fisuración de la base.

La base estabilizada es casi impermeable, resiste a cambios climáticos, además debido a la hidratación del cemento continúa ganando resistencia con la edad.

Una base estabilizada con cemento va a tener muchas ventajas sobre una base granular, primero va a generar una mayor resistencia, y mejora la capacidad portante de la estructura del pavimento, elevando su número

Una base estabilizada con cemento responde mejor a las sollicitaciones de carga a diferencia de una base granular

Económicamente queda demostrado para los ejemplos analizados, que es conveniente una base suelo cemento ya que permite en muchos casos, emplear materiales de la zona de trabajo sin la necesidad de importar materiales clasificados de canteras que encarecen en el transporte.

Es claro que al estabilizar una base con cemento se logra conseguir espesores menores de capas, mejorando los números estructurales considerablemente.

7. BIBLIOGRAFIA

- ACI 230.1R-90: State-of-the-Art Report on Soil Cement
- BASE VIAL DE HOLCIM ECUADOR
- Cement-Based Integrated Pavement Solutions – PCA Portland Cement Association
- CEMEX Manual de Pavimentos.
- Federal Highway Administration: Análisis de costo de un cebador y del ciclo de vida
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Pavimentos de concreto hidráulico.
- Introduction to Soil Stabilization: Understanding the Basics of Soil Stabilization: An Overview of Materials and Techniques. CATERPILLAR
- Manual de la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP, Volumen N° 3
- Publicación realizada de Bases granulares estabilizadas con cemento en cuarto Congreso Iberoamericano de pavimentos de concreto, por: Hugo Eguez A. (Junio, 2012).
- Road Binder Manual – Holcim Ltd.

8. ANEXOS

ANEXO #1

APUs.- Base clase 1A (e=20 cm).

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO :		Base clase 1A (e20cm)		UNIDAD DE MEDIDA::	m3
EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCION	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta manual (5% MO)					0.01
Moto niveladora 135 HP	1	50.71	50.71	0.0076	0.39
Rodillo Vibratorio liso 142 HP	1	36.23	36.23	0.0076	0.28
Camión Cisterna de 2000 galones	1	26.53	26.53	0.0076	0.20
SUBTOTAL M:					\$ 0.87
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCIÓN	A	B	C=A*B	R	D=C*R
C1(G1) Operador moto niveladora	1	3.57	3.57	0.008	0.027
C2(G2) Operador rodillo	1	3.39	3.39	0.008	0.026
Chofer: Tanqueros (Estr.Oc.C1)	1	4.67	4.67	0.008	0.035
Engrasador o abastecedor	1	3.22	3.22	0.008	0.024
E2 Peón	5	3.18	15.9	0.008	0.121
SUBTOTAL N:					\$ 0.23
MATERIALES	UNIDAD		CANTIDAD	UNITARIO	COSTO
DESCRIPCIÓN			A	B	C=A*B
Base clase 1A (mat)	M3		1.25	14.55	18.19
SUBTOTAL O:					\$ 18.19
TRANSPORTE	UNIDAD		CANTIDAD	TARIFA	COSTO
DESCRIPCIÓN			A	B	C=A*B
SUBTOTAL P:					0
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P):					\$ 19.29
COSTO TOTAL DEL RUBRO					\$ 19.29

ANEXO #1

APUs.- Base clase 1A estabilizada con cemento (e=20cm).

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	Base clase 1A estabilizada con cemento (e 20cm)			UNIDAD DE MEDIDA:	m3
EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCION	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta manual (5% MO)					0.01
Motoniveladora 135 HP	1	50.71	50.71	0.033	1.69
Rodillo Vibratorio liso 142 HP	1	36.23	36.23	0.033	1.21
Camión Cisterna de 2000 galones	1	26.53	26.53	0.033	0.88
Personal Adicional Colocacion cemento Cargadora sobre ruedas 149 hp	1	32.31	32.31	0.033	1.08
SUBTOTAL M:					4.87
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCIÓN	A	B	C=A*B	R	D=C*R
C1(G1) Operador moto niveladora	1	3.57	3.57	0.033	0.12
C2(G2) Operador rodillo	1	3.39	3.39	0.033	0.11
Chofer: Tanqueros (Estr.Oc.C1)	1	4.67	4.67	0.033	0.16
Engrasador o abastecedor	1	3.22	3.22	0.033	0.11
E2 Peón	5	3.18	15.9	0.033	0.53
Personal Adicional Colocación cemento E2 Peón	0				
	8	3.18	25.44	0.033	0.85
SUBTOTAL N:					1.87
MATERIALES	UNIDAD		CANTIDAD	UNITARIO	COSTO
DESCRIPCIÓN			A	B	C=A*B
Base clase 1A (mat)	M3		1.25	14.55	18.19
Cemento Base Vial	Ton		0.09	124.2	11.18
SUBTOTAL O:					29.37
TRANSPORTE	UNIDAD		CANTIDAD	TARIFA	COSTO
DESCRIPCIÓN			A	B	C=A*B
SUBTOTAL P:					0
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P):					36.11
COSTO TOTAL DEL RUBRO					\$ 36.11

ANEXO #1

APUs.- Hormigón para pavimentos Módulo de rotura 4.5 MPa.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DETALLE:		Hormigon para pavimento		UNIDAD DE MEDIDA::	m3
EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCION	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Pavimentadora	1.00	300.00	300.00	0.02	6.00
SUBTOTAL M:					\$ 6.00
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCIÓN	A	B	C=A*B	R	D=C*R
D2 Técnico General	1.00	4.68	4.68	0.02	0.09
C3 Ay. Maquinaria	1.00	3.27	3.27	0.02	0.07
E2 Peón	13.00	3.18	41.34	0.02	0.83
C1 Maestro	1.00	3.39	3.39	0.02	0.07
SUBTOTAL N:					\$ 1.05
MATERIALES	UNIDAD		CANTIDAD	UNITARIO	COSTO
DESCRIPCIÓN			A	B	C=A*B
Hormigon	m3		1	119.69	119.69
SUBTOTAL O:					\$ 119.69
TRANSPORTE	UNIDAD		CANTIDAD	TARIFA	COSTO
DESCRIPCIÓN			A	B	C=A*B
SUBTOTAL P:					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P):					126.74
COSTO TOTAL DEL RUBRO					\$ 126.74

ANEXO #1

APUs.- Suelo estabilizado con cemento.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: Base Estabilizada con cemento (e 20cm)			UNIDAD DE MEDIDA:: m3		
EQUIPOS	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCION	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta manual (5% MO)					0.01
Moto niveladora 135 HP	1	50.71	50.71	0.033	1.69
Rodillo Vibratorio liso 142 HP	1	36.23	36.23	0.033	1.21
Camión Cisterna de 2000 galones	1	26.53	26.53	0.033	0.88
Equipo Adicional Colocación cemento					
Cargadora sobre ruedas 149 hp	1	32.31	32.31	0.033	1.08
SUBTOTAL M:					4.87
MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
DESCRIPCIÓN	A	B	C=A*B	R	D=C*R
C1(G1) Operador moto niveladora	1	3.57	3.57	0.033	0.12
C2(G2) Operador rodillo	1	3.39	3.39	0.033	0.11
Chofer: Tanqueros (Estr.Oc.C1)	1	4.67	4.67	0.033	0.16
Engrasador o abastecedor	1	3.22	3.22	0.033	0.11
E2 Peón	5	3.18	15.9	0.033	0.53
Personal Adicional Colocación cemento	0				
E2 Peón	8	3.18	25.44	0.033	0.85
SUBTOTAL N:					1.87
MATERIALES	UNIDAD		CANTIDAD	UNITARIO	COSTO
DESCRIPCIÓN			A	B	C=A*B
Cemento Base Vial			0.09	126.6	11.394
SUBTOTAL O:					11.39
TRANSPORTE	UNIDAD		CANTIDAD	TARIFA	COSTO
DESCRIPCIÓN			A	B	C=A*B
SUBTOTAL P:					0.00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P):					18.14
COSTO TOTAL DEL RUBRO					\$ 18.14

ANEXO #2

Costo de construcción por m3 con diferentes condiciones de tráfico y calidades de suelo.

Análisis de costos por incorporación de BEC con condición de tráfico bajo con calidad baja de suelo

Analisis de costos por incorporacion de BEC						
Costo de aplicacion del cemento				Unidad	Precio	
PVP saco cemento Holcim Base Vial (Tipo MH) 50kg				\$	5,86	
Costo de transporte / saco cemento				\$	0,35	
Cemento en kg/m3 para estabilización de base (f'c 25kg/cm2)				kg/m3	90	
Costo Cemento Inc Transporte/m3 de base estabilizada				\$/m3	11,18	
Peso de dowells D 32mm + Canastilla				kg	42,78	
Peso de dowells D 28mm + Canastilla				kg	34,32	
Peso de dowells D 25mm + Canastilla				kg	27,98	
Precio del acero para Dowells				\$/Ton	\$ 1.200,00	
Precio dowells D 32mm + Canastilla					\$ 51,34	
Precio dowells D 28mm + Canastilla					\$ 41,18	
Precio dowells D 25mm + Canastilla					\$ 33,58	
Area por dowells (ancho de carril x longitud de paño de losa)				m2	16,9	
Opcion I	Long (km)	Espesor (m)	Area (m2)	Unidad	Costo/unidad5	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (21cm)1	1,0	0,21	3650	m3	\$ 126,74	\$ 97.149
Dowells D 28mm (1/8 espesor de la losa)2	1,0	0	3650	m2	\$ 2,44	\$ 8.908
Base Clase IA (espesor 20cm)4	1,0	0,20	3650	m3	\$ 19,29	\$ 14.082
Total					\$	120.138
Opcion II	Long (km)	Espesor (m)	Area (m2)	Unidad	Costo/unidad5	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (18cm)1	1,0	0,18	3650	m3	\$ 126,74	\$ 83.271
Dowells D 25mm (1/8 espesor de la losa)2	1,0	-	3650	m2	\$ 1,99	\$ 7.264
BEC (espesor 0.20 m)4	1,0	0,20	3650	m3	\$ 36,11	\$ 26.359
Total					\$	116.893
Ahorro neto /km					\$	3.246
Ahorro porcentual						2,7%

ANEXO #2

Costo de construcción por m³ con diferentes condiciones de tráfico y calidades de suelo.

Análisis de costos por incorporación de BEC con condición de tráfico medio con calidad baja de suelo

Análisis de costos por incorporación de BEC						
Costo de aplicación del cemento					Unidad	Precio
PVP saco cemento Holcim Base Vial (Tipo MH) 50kg					\$	5,86
Costo de transporte / saco cemento					\$	0,35
Cemento en kg/m ³ para estabilización de base (f'c 25kg/cm ²)					kg/m ³	90
Costo Cemento Inc Transporte/m ³ de base estabilizada					\$/m ³	11,18
Peso de dowells D 32mm + Canastilla					kg	42,78
Peso de dowells D 28mm + Canastilla					kg	34,32
Peso de dowells D 25mm + Canastilla					kg	27,98
Precio del acero para Dowells					\$/Ton	\$ 1.200,00
Precio dowells D 32mm + Canastilla						\$ 51,34
Precio dowells D 28mm + Canastilla						\$ 41,18
Precio dowells D 25mm + Canastilla						\$ 33,58
Area por dowells (ancho de carril x longitud de paño de losa)					m ²	16,9
Opcion I	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (25cm)1	1,0	0,25	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 115.653
Dowells D 32mm (1/8 espesor de la losa)2	1,0	0	3650	m ²	\$ 3,04	\$ 11.096
Base Clase IA (espesor 20cm)4	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 19,29	\$ 14.082
Total						\$ 140.831
Opcion II	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (22cm)1	1,0	0,22	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 101.775
Dowells D 28mm (1/8 espesor de la losa)2	1,0	-	3650	m ²	\$ 2,44	\$ 8.906
BEC (espesor 0.20 m)4	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 36,11	\$ 26.359
Total						\$ 137.040
Ahorro neto /km						\$ 3.791
Ahorro porcentual						2,7%

ANEXO #2

Costo de construcción por m³ con diferentes condiciones de tráfico y calidades de suelo.

Análisis de costos por incorporación de BEC con condición de tráfico alto con calidad baja de suelo

Análisis de costos por incorporación de BEC						
Costo de aplicación del cemento					Unidad	Precio
PVP saco cemento Holcim Base Vial (Tipo MH) 50kg					\$	5,86
Costo de transporte / saco cemento					\$	0,35
Cemento en kg/m ³ para estabilización de base (f'c 25kg/cm ²)					kg/m ³	90
Costo Cemento Inc Transporte/m ³ de base estabilizada					\$/m ³	11,18
Peso de dowells D 32mm + Canastilla					kg	42,78
Peso de dowells D 28mm + Canastilla					kg	34,32
Peso de dowells D 25mm + Canastilla					kg	27,98
Precio del acero para Dowells					\$/Ton	\$ 1.200,00
Precio dowells D 32mm + Canastilla						\$ 51,34
Precio dowells D 28mm + Canastilla						\$ 41,18
Precio dowells D 25mm + Canastilla						\$ 33,58
Area por dowells (ancho de carril x longitud de paño de losa)					m ²	16,9
Opcion I	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (28cm)1	1,0	0,28	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 129.532
Dowells D 36mm (1/8 espesor de la losa2)	1,0	0	3650	m ²	\$ 3,62	\$ 13.213
Base Clase IA (espesor 20cm)4	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 19,29	\$ 14.082
Total						\$ 156.827
Opcion II	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (25cm)1	1,0	0,25	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 115.653
Dowells D 32mm (1/8 espesor de la losa2)	1,0	-	3650	m ²	\$ 3,04	\$ 11.096
BEC (espesor 0.20 m)4	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 36,11	\$ 26.359
Total						\$ 153.108
Ahorro neto /km						\$ 3.718
Ahorro porcentual						2,4%

ANEXO #2

Costo de construcción por m³ con diferentes condiciones de tráfico y calidades de suelo.

Análisis de costos por incorporación de BEC con condición de tráfico bajo con calidad media de suelo

Análisis de costos por incorporación de BEC						
Costo de aplicación del cemento		Unidad	Precio			
PVP saco cemento Holcim Base Vial (Tipo MH) 50kg		\$	5,86			
Costo de transporte / saco cemento		\$	0,35			
Cemento en kg/m ³ para estabilización de base (f'c 25kg/cm ²)		kg/m ³	90			
Costo Cemento Inc Transporte/m ³ de base estabilizada		\$/m ³	11,18			
Peso de dowells D 32mm + Canastilla		kg	42,78			
Peso de dowells D 28mm + Canastilla		kg	34,32			
Peso de dowells D 25mm + Canastilla		kg	27,98			
Precio del acero para Dowells		\$/Ton	\$ 1.200,00			
Precio dowells D 32mm + Canastilla			\$ 51,34			
Precio dowells D 28mm + Canastilla			\$ 41,18			
Precio dowells D 25mm + Canastilla			\$ 33,58			
Area por dowells (ancho de carril x longitud de paño de losa)		m ²	16,9			
Opcion I	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (20.5cm) ¹	1,0	0,205	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 94.836
Dowells D 28mm (1/8 espesor de la losa) ²	1,0	0	3650	m ²	\$ 2,44	\$ 8.906
Base Clase IA (espesor 20cm) ⁴	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 19,29	\$ 14.082
Total					\$	117.824
Opcion II	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (17cm) ¹	1,0	0,17	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 78.644
Dowells D 25mm (1/8 espesor de la losa) ²	1,0	-	3650	m ²	\$ 1,99	\$ 7.264
BEC (espesor 0.20 m) ⁴	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 36,11	\$ 26.359
Total					\$	112.267
Ahorro neto /km					\$	5.557
Ahorro porcentual						4,7%

ANEXO #2

Costo de construcción por m³ con diferentes condiciones de tráfico y calidades de suelo.

Análisis de costos por incorporación de BEC con condición de tráfico medio con calidad media de suelo

Análisis de costos por incorporación de BEC						
Costo de aplicación del cemento				Unidad	Precio	
PVP saco cemento Holcim Base Vial (Tipo MH) 50kg				\$	5,86	
Costo de transporte / saco cemento				\$	0,35	
Cemento en kg/m ³ para estabilización de base (f'c 25kg/cm ²)				kg/m ³	90	
Costo Cemento Inc Transporte/m ³ de base estabilizada				\$/m ³	11,18	
Peso de dowells D 32mm + Canastilla				kg	42,78	
Peso de dowells D 28mm + Canastilla				kg	34,32	
Peso de dowells D 25mm + Canastilla				kg	27,98	
Precio del acero para Dowells				\$/Ton	\$ 1.200,00	
Precio dowells D 32mm + Canastilla					\$ 51,34	
Precio dowells D 28mm + Canastilla					\$ 41,18	
Precio dowells D 25mm + Canastilla					\$ 33,58	
Area por dowells (ancho de carril x longitud de paño de losa)				m ²	16,9	
Opcion I	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (24.5cm) ¹	1,0	0,245	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 113.340
Dowells D 32mm (1/8 espesor de la losa) ²	1,0	0	3650	m ²	\$ 3,04	\$ 11.096
Base Clase IA (espesor 20cm) ⁴	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 19,29	\$ 14.082
Total						\$ 138.518
Opcion II	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (21cm) ¹	1,0	0,21	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 97.149
Dowells D 28mm (1/8 espesor de la losa) ²	1,0	-	3650	m ²	\$ 2,44	\$ 8.906
BEC (espesor 0.20 m) ⁴	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 36,11	\$ 26.359
Total						\$ 132.414
Ahorro neto /km						\$ 6.104
Ahorro porcentual						4,4%

ANEXO #2

Costo de construcción por m³ con diferentes condiciones de tráfico y calidades de suelo.

Análisis de costos por incorporación de BEC con condición de tráfico alto con calidad media de suelo

Análisis de costos por incorporación de BEC						
Costo de aplicación del cemento		Unidad	Precio			
PVP saco cemento Holcim Base Vial (Tipo MH) 50kg		\$	5,86			
Costo de transporte / saco cemento		\$	0,35			
Cemento en kg/m ³ para estabilización de base (f'c 25kg/cm ²)		kg/m ³	90			
Costo Cemento Inc Transporte/m ³ de base estabilizada		\$/m ³	11,18			
Peso de dowells D 32mm + Canastilla		kg	42,78			
Peso de dowells D 28mm + Canastilla		kg	34,32			
Peso de dowells D 25mm + Canastilla		kg	27,98			
Precio del acero para Dowells		\$/Ton	\$ 1.200,00			
Precio dowells D 32mm + Canastilla			\$ 51,34			
Precio dowells D 28mm + Canastilla			\$ 41,18			
Precio dowells D 25mm + Canastilla			\$ 33,58			
Area por dowells (ancho de carril x longitud de paño de losa)		m ²	16,9			
Opcion I	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (27.5cm) ¹	1,0	0,275	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 127.219
Dowells D 36mm (1/8 espesor de la losa) ²	1,0	0	3650	m ²	\$ 3,62	\$ 13.213
Base Clase IA (espesor 20cm) ⁴	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 19,29	\$ 14.082
					Total	\$ 154.514
Opcion II	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (24cm) ¹	1,0	0,24	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 111.027
Dowells D 32mm (1/8 espesor de la losa) ²	1,0	-	3650	m ²	\$ 3,04	\$ 11.096
BEC (espesor 0.20 m) ⁴	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 36,11	\$ 26.359
					Total	\$ 148.482
Ahorro neto /km					\$	6.031
Ahorro porcentual						3,9%

ANEXO #2

Costo de construcción por m³ con diferentes condiciones de tráfico y calidades de suelo.

Análisis de costos por incorporación de BEC con condición de tráfico bajo con excelente calidad de suelo.

Análisis de costos por incorporación de BEC						
Costo de aplicación del cemento		Unidad	Precio			
PVP saco cemento Holcim Base Vial (Tipo MH) 50kg		\$	5,86			
Costo de transporte / saco cemento		\$	0,35			
Cemento en kg/m ³ para estabilización de base (f'c 25kg/cm ²)		kg/m ³	90			
Costo Cemento Inc Transporte/m ³ de base estabilizada		\$/m ³	11,18			
Peso de dowells D 32mm + Canastilla		kg	42,78			
Peso de dowells D 28mm + Canastilla		kg	34,32			
Peso de dowells D 25mm + Canastilla		kg	27,98			
Precio del acero para Dowells		\$/Ton	\$ 1.200,00			
Precio dowells D 32mm + Canastilla			\$ 51,34			
Precio dowells D 28mm + Canastilla			\$ 41,18			
Precio dowells D 25mm + Canastilla			\$ 33,58			
Area por dowells (ancho de carril x longitud de paño de losa)		m ²	16,9			
Opcion I	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad ⁵	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (20cm) ¹	1,0	0,2	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 92.523
Dowells D 25mm (1/8 espesor de la losa) ²	1,0	0	3650	m ²	\$ 1,99	\$ 7.264
Base Clase IA (espesor 20cm) ⁴	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 19,29	\$ 14.084
Total						\$ 113.871
Opcion II	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad ⁵	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (16cm) ¹	1,0	0,16	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 74.018
Dowells D 20mm (1/8 espesor de la losa) ²	1,0	-	3650	m ²	\$ 1,30	\$ 4.745
BEC (espesor 0.20 m) ⁴	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 36,11	\$ 26.359
Total						\$ 105.122
Ahorro neto /km						\$ 8.749
Ahorro porcentual						7,7%

ANEXO #2

Costo de construcción por m³ con diferentes condiciones de tráfico y calidades de suelo.

Análisis de costos por incorporación de BEC con condición de tráfico medio con excelente calidad de suelo.

Análisis de costos por incorporación de BEC						
Costo de aplicación del cemento		Unidad	Precio			
PVP saco cemento Holcim Base Vial (Tipo MH) 50kg		\$	5,86			
Costo de transporte / saco cemento		\$	0,35			
Cemento en kg/m ³ para estabilización de base (f'c 25kg/cm ²)		kg/m ³	90			
Costo Cemento Inc Transporte/m ³ de base estabilizada		\$/m ³	11,18			
Peso de dowells D 32mm + Canastilla		kg	42,78			
Peso de dowells D 28mm + Canastilla		kg	34,32			
Peso de dowells D 25mm + Canastilla		kg	27,98			
Precio del acero para Dowells		\$/Ton	\$ 1.200,00			
Precio dowells D 32mm + Canastilla			\$ 51,34			
Precio dowells D 28mm + Canastilla			\$ 41,18			
Precio dowells D 25mm + Canastilla			\$ 33,58			
Area por dowells (ancho de carril x longitud de paño de losa)		m ²	16,9			
Opcion I	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (24cm) ¹	1,0	0,24	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 111.027
Dowells D 32mm (1/8 espesor de la losa) ²	1,0	0	3650	m ²	\$ 3,04	\$ 11.096
Base Clase IA (espesor 20cm) ⁴	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 19,29	\$ 14.084
Total					\$	136.208
Opcion II	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (20.5cm) ¹	1,0	0,205	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 94.836
Dowells D 28mm (1/8 espesor de la losa) ²	1,0	-	3650	m ²	\$ 2,44	\$ 8.906
BEC (espesor 0.20 m) ⁴	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 36,11	\$ 26.359
Total					\$	130.101
Ahorro neto /km					\$	6.107
Ahorro porcentual						4,5%

ANEXO #2

Costo de construcción por m³ con diferentes condiciones de tráfico y calidades de suelo.

Análisis de costos por incorporación de BEC con condición de tráfico alto con excelente calidad de suelo.

Análisis de costos por incorporación de BEC

Costo de aplicación del cemento	Unidad	Precio
PVP saco cemento Holcim Base Vial (Tipo MH) 50kg	\$	5,86
Costo de transporte / saco cemento	\$	0,35
Cemento en kg/m ³ para estabilización de base (f'c 25kg/cm ²)	kg/m ³	90
Costo Cemento Inc Transporte/m ³ de base estabilizada	\$/m ³	11,18

Peso de dowells D 32mm + Canastilla	kg	42,78
Peso de dowells D 28mm + Canastilla	kg	34,32
Peso de dowells D 25mm + Canastilla	kg	27,98

Precio del acero para Dowells	\$/Ton	\$ 1.200,00
-------------------------------	--------	-------------

Precio dowells D 32mm + Canastilla	\$	51,34
Precio dowells D 28mm + Canastilla	\$	41,18
Precio dowells D 25mm + Canastilla	\$	33,58

Area por dowells (ancho de carril x longitud de paño de losa)	m ²	16,9
---	----------------	------

Opcion I	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (27cm) ¹	1,0	0,27	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 124.906
Dowells D 36mm (1/8 espesor de la losa) ²	1,0	0	3650	m ²	\$ 3,62	\$ 13.213
Base Clase IA (espesor 20cm) ⁴	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 19,29	\$ 14.084
Total					\$	152.203

Opcion II	Long (km)	Espesor (m)	Area (m ²)	Unidad	Costo/unidad	Costo Total
Hormigón pavimento-MR 4.5MPa (23.5cm) ¹	1,0	0,235	3650	m ³	\$ 126,74	\$ 108.714
Dowells D 32mm (1/8 espesor de la losa) ²	1,0	-	3650	m ²	\$ 3,04	\$ 11.096
BEC (espesor 0.20 m) ⁴	1,0	0,20	3650	m ³	\$ 36,11	\$ 26.359
Total					\$	146.169

Ahorro neto /km	\$ 6.034
Ahorro porcentual	4,0%

ANEXO #3

Análisis de costos por suelo estabilizado con cemento para caminos vecinales comparado con camino lastrado.

Análisis de costos - Suelo estabilizado con cemento para caminos vecinales
BEC comparado con camino lastrado (Ambos con doble riego asfáltico)

Costo de aplicación del cemento	Unidad	Precio
PVP Saco cemento Base Vial Tipo MH 50kg *	\$	5.98
Costo de transporte / saco cemento	\$	0.35
Cemento kg/m3 para estabilización de base Suelo Granular	kg/m3	90
Costo Cemento con Transporte/m3 de base	\$	11.394

Opción I	Área (m2)	Espesor (m)	Volumen (m3)	Costo unitario	Costo Total	
Base Granular Clase IA - Mantenimiento1	1.0	0.2	0.20	\$ 19.29	\$ 3.86	\$ 8.16
Tratamiento bituminoso superficial en el año 0 y 2	2.0			\$ 2.15	\$ 4.30	
Opción II	Área (m2)	Espesor (m)	Volumen (m3)	Costo unitario	Costo Total	
Suelo estabilizado con cemento (capa 0.20 m)2	1.0	0.2	0.20	\$ 18.14	\$ 3.63	\$ 5.78
Tratamiento bituminoso superficial en el año 0	1.0			\$ 2.15	\$ 2.15	
Ahorro neto /m2					\$ 2.38	
Ahorro (%)					61.71%	

ANEXO #3

Análisis de costos por suelo estabilizado con cemento para caminos vecinales comparado con camino lastrado.

Análisis de costos - Suelo estabilizado con cemento para caminos vecinales

BEC comparado con camino lastrado

Costo de aplicación del cemento	Unidad	Precio
PVP Saco cemento Base Vial Tipo MH 50kg *	\$	5.98
Costo de transporte / saco cemento	\$	0.35
Cemento kg/m3 para estabilización de base Suelo Granular	kg/m3	90
Costo Cemento con Transporte/m3 de base	\$	11.39

Opción I	Área (m2)	Espesor (m)	Volumen (m3)	Costo unitario	Costo Total
Base Granular Clase IA - Mantenimiento1	1.0	0.2	0.20	\$ 19.29	\$ 3.86
Opción II	Área (m2)	Espesor (m)	Volumen (m3)	Costo unitario	Costo Total
Suelo estabilizado con cemento (capa 0.20 m)2	1.0	0.2	0.20	\$ 18.14	\$ 3.63
Ahorro neto /m2					\$ 0.23
Ahorro (%)					5.96%



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Matute Acurio, Andrea Cristina**, con C.C: # 0924106263 autora del trabajo de titulación: **Comparación técnico económica del uso de bases granulares y bases estabilizadas con cemento, para diversos casos de tráfico, con y sin capa de rodadura, para nuestro medio** 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, **12 de Septiembre de 2016**

Nombre: **Matute Acurio, Andrea Cristina**

C.C: **0924106263**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Comparación técnico económica del uso de bases granulares y bases estabilizadas con cemento, para diversos casos de tráfico, con y sin capa de rodadura, para nuestro medio		
AUTOR	Andrea Cristina Matute Acurio		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Roberto Miguel Murillo Bustamante		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	INGENIERÍA		
CARRERA:	INGENIERÍA CIVIL		
TITULO OBTENIDO:	INGENIERO CIVIL		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	12 de Septiembre de 2016	No. DE PÁGINAS:	87
ÁREAS TEMÁTICAS:	Geotecnia, Ing. Vial, Evaluación de Proyectos, Economía y Finanzas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Comparación, económica, granular, estabilizadas, rígido, flexible, mantenimiento, refuerzo, rodadura, rentable, durable.		
RESUMEN/ABSTRACT :	<p>En el presente trabajo investigativo se realizó una comparación técnica económica del uso de bases granulares y bases estabilizadas con cemento, para diversos casos de tráfico, con y sin capa de rodadura, para nuestro medio. El análisis técnico fue realizado utilizando el método de la AASHTO 93 considerando ciertos parámetros similares para todos los casos, variando los ESALS y el coeficiente k de reacción del suelo, que al mejorarlo con cemento cambia, este k es una equivalencia del CBR que se indica en los Apis. Se realizó el análisis financiero basado en una comparación entre Pavimento rígido con Base Granular 1A y una BEC, Base Estabilizada con Cemento, un Camino vecinal hecho con lastre de río sin estabilizar y otro con el mismo lastre pero estabilizado, cada uno con diferentes costos de mantenimiento en el tiempo y diferente tipo de refuerzo con el fin de determinar el tipo de capa de rodadura a construirse en una carretera, que sea económicamente rentable y durable para el organismo ejecutor de la obra.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-2883127	E-mail: kristi_acma@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Ing. Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4-2202763		
	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):			