



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERO CIVIL**

**NÚCLEO ESTRUCTURANTE: GENERALES DE INGENIERÍA**

**TEMA**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE DISEÑO ENTRE PAVIMENTO FLEXIBLE  
CONVENCIONAL Y PAVIMENTO FLEXIBLE CON BASE  
ESTABILIZADA CON CEMENTO DE LA VÍA PASO LATERAL DE  
JARAMIJÓ PROVINCIA DE MANABÍ.**

**AUTOR**

**WILMER ANÍBAL GUAÑO LLUMIQUINGA**

**TUTOR**

**ING. CARLOS VEINTIMILLA**

**2015 – 2016**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por brindarme siempre sus bendiciones y permitirme concluir con esta etapa de mi vida y poder ser un profesional.

A mis padres quienes me han apoyado en todo momento a lo largo de mi trayectoria académica y así poder culminarla con éxito.

A todos y cada uno de mis profesores que supieron transmitir todos sus conocimientos, los cuales serán de mucha utilidad a lo largo de mi carrera profesional.

## **DEDICATORIA**

A mis hijos Eder, Nicole y Emilio, ya que son el motor principal de mi vida y son quienes me motivan a esforzarme para ser cada día mejor y ser un ejemplo para cada uno de ellos.

A mis padres Liliana y Nelson, quienes con su apoyo y comprensión incondicional, hicieron posible esta meta.

A todos mis amigos quienes estuvieron en cada momento compartiendo anécdotas y conocimientos dentro y fuera de las aulas de clase.

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Eduardo Santos Baquerizo, Msc.

**Decano de la Facultad de CC.MM.FF**

---

Ing. Carlos Veintimilla Silva, Msc.

**Tutor de Proyecto de Titulación**

---

Ing. Aníbal Trujillo Naranjo, Msc.

**Miembro de Tribunal de Sustentación**

---

Arq. Johnny Ampuero Franco, Msc.

**Miembro de Tribunal de Sustentación**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

**Art.- XI del reglamento de graduación de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil.**

La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesina corresponde exclusivamente al autor, y el patrimonio intelectual de grado corresponderá a la **UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL.**

---

**Wilmer Aníbal Guaño LLumiQuinga**  
**C.I. 1720270386**

## ÍNDICE GENERAL

### Capítulo I

#### Introducción

1.1	Generalidades.....	1
1.2	Objetivos.....	1
1.2.1	General.....	1
1.2.2	Específicos.....	2
1.3	Delimitación del tema.....	2
1.4	Planteamiento del problema.....	3

### Capítulo II

#### Marco Teórico

2.1	Introducción.....	5
2.2	Antecedentes.....	6
2.3	Suelo Cemento.....	7
2.3.1	Definición.....	7
2.4	Aplicaciones del Suelo-Cemento.....	9
2.5	Ventajas del uso de Suelo-Cemento.....	9
2.5.1	Ventajas de la utilización de capas estabilizadas en pavimentos flexibles.....	13
2.6	Desventajas del uso de Suelo Cemento.....	14
2.7	Componentes del Suelo Cemento.....	15
2.7.1	Suelos.....	15
2.7.2	Cemento.....	17
2.7.3	Agua.....	17
2.8	Propiedades del Suelo Cemento.....	18
2.8.1	Propiedades Físicas del Suelo Cemento.....	18
2.8.1.1	Densidad.....	18
2.8.1.2	Permeabilidad.....	19
2.8.2	Propiedades Mecánicas del Suelo Cemento.....	20
2.8.2.1	Resistencia a La Compresión Simple.....	20
2.8.2.2	Resistencia a La Flexión.....	21
2.8.2.3	Módulo de Elasticidad.....	22
2.8.2.4	Valor de Soporte de California (C.B.R.).....	23
2.9	Diseño de Mezclas de Suelo Cemento.....	24
2.9.1	Criterios ACI 230.....	24
2.9.1.1	Generalidades.....	24
2.9.2	Método según PCA.....	26
2.9.2.1	Método General de La PCA.....	26
2.9.2.2	Método Simplificado o Corto de La PCA.....	28
2.10	Diseño Estructural de Bases y Sub-Bases de Suelo - Cemento.....	36
2.10.1	Metodología AASHTO 1993.....	37
2.10.1.1	Pavimentos Flexibles:.....	37
2.10.2	Método según PCA.....	43
2.10.2.1	Fundamentos principales.....	43
2.10.2.2	Procedimiento del método.....	44

### Capítulo III

#### Metodología

3.1	Diseño de Mezcla de Suelo-Cemento .....	49
3.1.1	Descripción de Resultados de Suelo a Estabilizar. ....	50
3.1.1.1	Granulometría e Índices Físicos.....	50
3.1.2	Selección del Porcentaje de Cemento. ....	51
3.1.2.1	Realización de Ensayo Proctor para determinar Humedades Óptimas en las Mezclas de Suelo Cemento para los diferentes Porcentajes. ....	51
3.1.2.2	Elaboración de Especímenes de Prueba para los diferentes Porcentajes de Suelo Cemento a Investigar. ....	52
3.1.2.3	Ensayo para la determinación de la Resistencia a la Compresión Simple...54	
3.1.3	Selección del Porcentaje Óptimo de Cemento.....	56
3.2	Estudios en la Vía Paso Lateral de Jaramijó. ....	56
3.2.1	Datos del Diseño de Pavimento en la Vía Paso Lateral de Jaramijó. ....	57
3.2.1.1	Tráfico.....	57
3.2.1.2	Módulo resiliente de la subrasante.....	57
3.2.1.3	Materiales de construcción a utilizar .....	57
3.2.1.4	Confiabilidad R y desviación estándar. ....	58
3.2.1.5	Factores de drenaje .....	59
3.2.1.6	Número Estructural (SN) del Pavimento de la Vía de Estudio.....	60
3.3	Análisis de Resultados Obtenidos.....	61
3.4	Cálculo de Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Capa de la Base Estabilizada. 62	
3.5	Diseño de Pavimento con Base Estabilizada con Cemento. ....	64
3.5.1	Cálculo del nuevo diseño de pavimento. ....	65

### Capítulo IV

#### Conclusiones y Recomendaciones

4.1	Conclusiones .....	68
4.2	Recomendaciones .....	69

#### Anexos

#### Bibliografía

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Granulometrías para mezcla de suelo cemento en sitio y planta. ....	16
Tabla 2. Resistencia a compresión simple de 7 y 28 días. ....	21
Tabla 3. Propiedades exigidas a las mezclas de suelo cemento. ....	23
Tabla 4. Requerimientos típicos para varios grupos de suelos. ....	25
Tabla 5. Criterios de la PCA para ensayos de humedecimiento y secado. ....	26
Tabla 6. Coeficientes de consumo de fatiga según PCA. ....	45
Tabla 7. Espesores de carpeta asfáltica según PCA. ....	46
Tabla 8. Granulometría de base clase 1 según MTOP. ....	49
Tabla 9. Granulometría del suelo a estabilizar. ....	50
Tabla 10. Índices físicos del suelo a estabilizar. ....	50
Tabla 11. Resultados del Ensayo Próctor para las diferentes Mezclas de Suelo Cemento. ....	52
Tabla 12. Resultados del Ensayo de Compresión Simple de Suelo Cemento. ....	55
Tabla 13. Módulo de la subrasante de la vía de estudio. ....	57
Tabla 14. Calidad de drenaje en pavimentos según AASHTO 93. ....	59
Tabla 15. Porcentaje de drenaje en pavimentos según AASHTO 93. ....	59

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Distribución de esfuerzos en las capas de pavimento. ....	10
Figura 2. Método A - Estimación del peso volumétrico máximo promedio. ....	32
Figura 3. Método A - Obtención de contenidos de cemento. ....	33
Figura 4. Método A - Resistencia a la compresión simple a los 7 días. ....	33
Figura 5. Método B - Obtención de peso volumétrico máximo aparente. ....	35
Figura 6. Método B - Obtención de porcentajes de cemento. ....	35
Figura 7. Método B - Obtención de la resistencia a la compresión simple a los 7 días. ....	36
Figura 8. Nomogramas para el diseño de espesores en pavimentos flexibles AASHTO 93. ....	40
Figura 9. Coeficiente estructural de la capa de base estabilizada con cemento AASHTO 93. ....	42
Figura 10. Ábaco para el diseño de espesores de suelo-cemento para suelos granulares. ....	47
Figura 11. Ábaco para el diseño de espesores de suelo-cemento para suelos finos. ....	47
Figura 12. Curva Granulométrica de Base Clase 1A vs Suelo Seleccionado. ....	51
Figura 13. Proceso de elaboración de especímenes de prueba. ....	54
Figura 14. Diseño de Pavimento Flexible de la Vía Paso Lateral de Jaramijó. ....	60
Figura 15. Resistencia a la compresión a los 7 días de probetas. ....	61
Figura 16. Cálculo de Coeficiente de Capa y Módulo Elástico para BAEC. ....	62
Figura 17. Cálculo de Coeficiente de Capa y Módulo Elástico para BAEC. ....	63
Figura 18. Cálculo de la nueva Estructura de Pavimento. ....	66
Figura 19. Nueva Estructura de Pavimento. ....	67

## **Capítulo I**

### **Introducción**

#### **1.1 Generalidades.**

El siguiente trabajo trata del “Estudio Comparativo de un Diseño de Pavimento Flexible Convencional y Pavimento Flexible con Base Estabilizada con Cemento”, ya que debido a su mayor densificación y mejor comportamiento mecánico, ofrece mayores resistencias, constituyéndose en una alternativa para la construcción de pavimentos flexibles muy similares a aquellos construidos con un diseño de pavimento flexible convencional; ya que la base de agregados estabilizada con cemento nos permite disminuir espesores de agregados para la construcción de las capas en los pavimentos, debido a su mayor rigidez; también nos permite hacer uso de la mayoría de agregados presentes en la naturaleza.

La aplicación de esta alternativa ayudaría principalmente a la reducción de la explotación de las canteras de nuestro país ya que de ser explotados excesivamente provocaría su escasez.

#### **1.2 Objetivos.**

##### **1.2.1 General.**

Determinar los beneficios del uso de bases estabilizadas con cemento a través de la realización de un análisis comparativo de diseño de pavimento flexible convencional respecto a un pavimento flexible con base estabilizada con cemento, con el fin de optimizar los materiales en el diseño de la estructura de pavimento.

### **1.2.2 Específicos.**

Para alcanzar el Objetivo General se proponen los siguientes Objetivos Específicos:

- Diseñar mezclas de suelo cemento por el método de la Portland Cement Association (PCA) para los contenidos de cemento en peso del 2%, 4% y 6%, utilizando material granular (base) y cemento Portland Tipo I o Tipo II que cumplan con la norma NTE-INEN 152 (ASTM C 150), para elaborar probetas de ensayo donde se verificaran las propiedades a investigar.
- Realizar ensayos de laboratorio de resistencia a compresión simple, para cada uno de los proporcionamientos de cemento para obtener los parámetros que se utilizan en el diseño de pavimentos.
- Diseñar un pavimento flexible con Base de Agregados Estabilizada con Cemento (BAEC) aplicando la metodología AASHTO 93, para comparar resultados respecto del diseño de pavimento flexible convencional ya diseñado.

### **1.3 Delimitación del tema.**

El siguiente estudio se enfocará en determinar las propiedades del suelo-cemento, como material utilizado en bases para pavimentos flexibles. Específicamente en la determinación de la resistencia a la compresión simple utilizando cemento Portland Tipo I o Tipo II que cumplan con la norma NTE-INEN

152 (ASTM C 150), con porcentajes de cemento en peso de 2%, 4% y 6%, el material a utilizar en la mezcla es granular, el cual se lo obtiene de canteras de nuestro país.

La investigación está enfocada al uso de suelo-cemento para propósitos viales.

#### **1.4 Planteamiento del problema.**

El uso extensivo de materiales granulares en la construcción de pavimentos flexibles, demanda la explotación de las canteras del país, lo que provocaría la escasez de este recurso natural a un corto o mediano plazo, esto conllevaría al aumento progresivo de su costo. Para lo cual se debe buscar alternativas factibles para reducir su uso.

Una de estas alternativas es la utilización de bases estabilizadas con cemento, la cual no es utilizada con regularidad en nuestro país por la falta de conocimiento, experiencia, desconfianza y estudios realizados referentes al tema. Por lo cual los especialistas en pavimentos flexibles optan por el diseño convencional que demanda grandes espesores de base granular en vías de tráfico pesado y condiciones de suelos desfavorables.

La utilización de esta alternativa permitiría el reciclaje de material de un pavimento flexible existente, poseería una alta resistencia para soportar grandes cargas, por eso el espesor de la estructura se reduciría considerablemente del que sería necesario para una base granular no tratada con cemento y bajo las mismas condiciones de carga y

subrasante, se obtendría beneficios tanto técnicos como económicos por reducción de tiempos en los procesos constructivos, utilización de materiales nativos, disminución del impacto ambiental, disminución de costos de mantenimiento y a la vez se formularían nuevas alternativas de construcción y rehabilitación de estructuras de pavimentos.

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### 2.1 Introducción.

La utilización de materiales cementantes en la construcción de bases y estabilización de todo tipo de suelos de las estructuras de los pavimentos, ha sido históricamente muy amplia. Han quedado demostradas las múltiples ventajas de los materiales estabilizados con materiales cementantes, relacionadas principalmente con el incremento de sus propiedades mecánicas y la reducida susceptibilidad a condiciones climáticas adversas.

Sin duda, el tratamiento de suelos con materiales cementantes resulta una aportación significativa para el campo de la ingeniería, en el desarrollo de estructuras de pavimentos, ya que amplía de manera considerable la utilización de casi todos los suelos como materiales de construcción, permitiendo el uso de los suelos disponibles y evitando la explotación adicional de fuentes de materiales.

Globalmente, en los últimos años, la tendencia de uso de suelos estabilizados o mejorados con materiales cementantes, se ha incrementado significativamente, y se espera un crecimiento aún más acelerado en los próximos años, dada la gran importancia que tiene la necesidad de una mayor durabilidad de las vías de comunicación y la preservación del medio ambiente y el desarrollo sustentable.

## 2.2 Antecedentes.

La técnica de mezclar material granular con cemento Portland, fue usada ya hace siglos en China donde se mezclaba tierra y cal para la realización de grandes construcciones, ya que la cal al igual que el cemento le da la propiedad de impermeabilidad y al mismo tiempo aumenta la resistencia.

A este material empleado por los chinos se lo conoce actualmente con el nombre de “mortero chino”. En civilizaciones como los Incas o la Azteca los caminos estabilizados fueron clave para el desarrollo de diversas actividades. En los Estados Unidos, el uso del suelo - cemento se incrementó a partir de la patente de Joseph Hay Amies en 1917, de una mezcla de suelo con cemento llamada Soilamies. El esfuerzo conjunto de la Portland Cement Association (PCA), el Bureau of Public Roads y el Highway Department del estado de Carolina del Sur contribuyó al desarrollo tecnológico de la estabilización de suelos con cemento, realizando diversos tramos experimentales de carreteras entre 1930 y 1940.

A partir de estas pruebas y con la aparición del cemento, se obtuvieron mejores resultados, dando inicio a la técnica del suelo–cemento.

La BAEC es ampliamente usada como base para pavimentos de carreteras, caminos, calles y áreas de estacionamiento, aeropuertos y patios de almacenamiento o bodegas<sup>1</sup>.

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

---

<sup>1</sup> CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, Bases Estabilizadas, Serie Monografía n.016.

rigidez de la BAEC hace que las cargas de tráfico se distribuyan sobre un área mayor, haciendo disminuir los esfuerzos sobre la subbase o sobre la subrasante.

La experiencia Ecuatoriana se basa, principalmente, en los métodos de dosificación de la Portland Cement Association (PCA).

## **2.3 Suelo Cemento.**

### **2.3.1 Definición.**

El suelo-cemento es un producto endurecido resultante de una mezcla íntima compactada de suelo, cemento y agua, en proporciones establecidas a través de una dosificación racional, ejecutada de acuerdo con las normas aplicables al suelo en estudio. Posee una mayor resistencia con un menor espesor<sup>2</sup>.

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 posibilidades adiciones incluyendo puzolanas, para formar un material endurecido con propiedades específicas de ingeniería”. (ACI 230.1R)<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> INECYC (Instituto ecuatoriano del cemento y el concreto)

<sup>3</sup> ACI (American Concrete Institute)

El suelo-cemento: es una mezcla íntima de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas porciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se transforma en un material duro, durable y rígido. Se le usa principalmente como base en los pavimentos de carreteras, calles y aeropuertos<sup>4</sup>.

El MOP define las bases de suelo-cemento como una mezcla de suelo, cemento Portland y agua, que pueden ser preparadas en sitio con el suelo de la sub-rasante, o en una planta central, para ser colocadas sobre la sub-rasante o una sub-base previamente construida<sup>5</sup>.

Debido a las numerosas definiciones que se pueden encontrar relacionadas al suelo-cemento, es necesario trabajar con una definición acorde a nuestra investigación, como la siguiente:

*Suelo-cemento, es una mezcla destinada a mejorar las condiciones de estabilidad del suelo, en la cual mediante un análisis de laboratorio se establece el contenido, el tipo de cemento y la cantidad de agua necesaria para combinar con el suelo y cumplir con los requisitos mínimos de resistencia y durabilidad. La mezcla resultante se compacta rigurosamente con una energía de compactación específica, así las propiedades de este material son el resultado de la hidratación del cemento y la energía de compactación inducida.*

---

<sup>4</sup> Portland Cement Association (PCA)

<sup>5</sup> MOP-001-F-2000 Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos y Puentes. Ministerio de Transporte y Obras Públicas

## **2.4 Aplicaciones del Suelo-Cemento.**

El suelo-cemento puede tener diferentes usos entre los cuales podemos detallar:

- Base de Pavimentos
- Protección de Taludes
- Recubrimientos en donde se requiera baja permeabilidad
- Estabilización de cimientos

Esta investigación se enfocará al uso de bases estabilizadas con cemento como base de pavimentos flexibles.

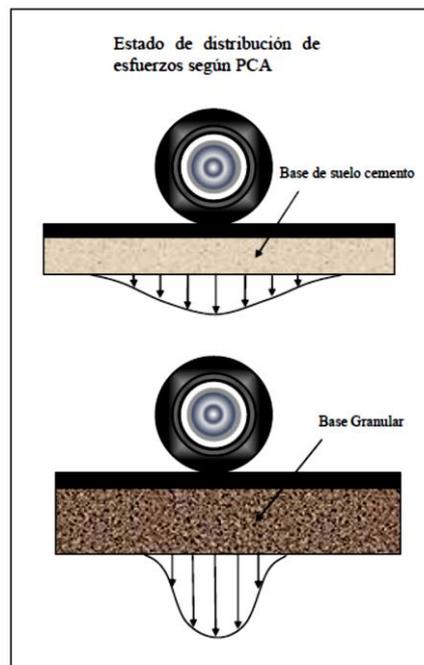
## **2.5 Ventajas del uso de Suelo-Cemento.**

La estabilización de los suelos aumenta enormemente la potencialidad de uso de los bancos de materiales. Esto se debe a que una buena parte de los materiales de los bancos, que en un proyecto convencional se desecharían como deficientes por no satisfacer los requerimientos de diseño, se pueden utilizar mediante un tratamiento adecuado con cemento. Con el tratamiento se mejorarán las características físicas para que puedan ser aprovechados. El tratamiento con cemento es uno de los que, con más amplio campo de acción, han dado resultados muy satisfactorios y mayores posibilidades de uso.

En algunas ocasiones, donde los bancos de material adecuado están muy alejados y sea incosteable o muy costosa su explotación, cabe la posibilidad de utilizar económicamente los bancos cercanos mediante tratamientos con cemento. Siempre y cuando el costo de éstos compita con los costos adicionales, esto es, aquéllos que se generan debido a la lejanía de los bancos que no requieren tratamiento; y todavía

resulta mucho mejor, si se puede lograr un ahorro substancial tanto en dinero como en tiempos de construcción.

La base o sub-base de suelo-cemento ya colocada y endurecida es bastante más rígida que las bases o sub-bases usuales de grava, lo que le permite transmitir mejor que ellas las presiones de las llantas a la sub-base o sub-rasante dependiendo del tipo de pavimento.



*Figura 1.* Distribución de esfuerzos en las capas de pavimento.

Por presentar mayor rigidez es posible reducir el espesor requerido de los pavimentos tratados para transmitir las presiones aceptables en las capas inferiores. Esta disminución es muy deseable en la construcción de las pistas de los aeropuertos donde por los fuertes impactos que ocasionan las llantas de los aviones en los aterrizajes se requiere que se coloquen espesores considerables de bases granulares.

Ha sido notable su prolongada durabilidad bajo condiciones adversas. Se le ha probado en forma exhaustiva en climas extremos, por lo que se ha usado frecuentemente para pavimentos en lugares con condiciones climáticas muy desfavorables de América, Europa y Asia.

En casos de urgencias constructivas, su aplicación permite reducir considerablemente los tiempos de construcción normales si se utilizan las técnicas y maquinarias apropiadas.

Aunque su construcción es muy versátil y también puede hacerse con equipos muy sencillos para tener certeza de éxito se requerirá utilizar las técnicas, equipos y controles adecuados. Además de lo anteriormente expuesto el suelo cemento presenta las ventajas en las siguientes aplicaciones:

- **Mayor uso de materiales locales.**

El suelo cemento permite la utilización de gran cantidad de tipos de suelo para su elaboración, lo que permite reducir considerablemente los costos de transporte de material de aporte y aumentar los rendimientos de construcción.

- **Material adecuado para diferentes tipos de vías.**

Su versatilidad permite un excelente desempeño en todas las estructuras, desde los pavimentos flexibles, pasando por los articulados y finalmente en los rígidos donde su compatibilidad modular, permite que el desempeño estructural del conjunto en un pavimento rígido sea sustancialmente mayor que cuando son apoyadas las losas sobre materiales granulares.

- **Aporte a la solución de problemas de estabilidad, durabilidad y economía.**

Al utilizar suelo cemento en la base o sub base de un pavimento, mejoramos sus propiedades mecánicas y se pueden estabilizar suelos que en otras condiciones se tendrían que reemplazar completamente.

Desde el concepto mismo de su funcionamiento el suelo-cemento presenta un comportamiento a la fatiga bastante bueno, permitiendo aún en condiciones extremas, cumplir su función de mantener su estructura interna en excelentes condiciones.

El aspecto económico de una mezcla de suelo-cemento se relaciona con el ahorro en transporte del material por la estabilización de suelos nativos, los altos rendimientos constructivos y la relación modular de las capas donde se presentan ahorros importantes por la reducción de espesores de diseño.

- **Reducción del impacto sobre el medio ambiente.**

Se puede reducir el impacto al medio ambiente ya que con el uso de suelo cemento ya no es necesario procesar materiales granulares y transportarlos a sitios remotos para ser utilizados como materiales de base y sub-base.

Lo ideal sería analizar bien los componentes de los suelos nativos y agregar los elementos faltantes para lograr que éstos se comporten adecuadamente, reduciendo así el impacto que sobre el medio ambiente generen los proyectos viales.

### **2.5.1 Ventajas de la utilización de capas estabilizadas en pavimentos flexibles.**

- **Aumento en la vida útil y reducción del agrietamiento por fatiga.**

Al ser la capa estabilizada un material con mejor comportamiento a la fatiga, se puede predecir con más exactitud su desempeño en el tiempo resultando en una mayor vida útil y mejor desempeño estructural.

- **Disminución de la presión en la subrasante.**

Debido al aporte estructural que proporcionan las capas superiores tratadas con suelo cemento a la subrasante, los esfuerzos se pueden distribuir de una forma más eficiente, de tal manera que involucren áreas mayores, y por consiguiente se disminuyan las presiones en la sub-rasante.

Muchas veces la capa de soporte llamada subrasante está determinada por un número llamado CBR (California Bearing Ratio), en la actualidad se utiliza el Modulo de reacción  $k$ , y Modulo de resiliencia ( $M_r$ ), cuando ésta debería ser evaluada como otra capa del pavimento. Si además de esta abstracción, permitimos que a ella lleguen, en forma casi que directa las cargas del tránsito, tendremos múltiples problemas asociados a la capacidad de soporte que el suelo nos puede brindar. Si, por el contrario, nos aseguramos que las cargas sean distribuidas de una forma más eficiente, de tal manera que involucren áreas mayores, podemos concluir que las presiones sobre la subrasante serán mucho más tolerables y los problemas asociados desaparecerán completamente.

## 2.6 Desventajas del uso de Suelo Cemento.

Por otra parte, los inconvenientes más notables que presenta el uso de suelo cemento son:

- Si no es diseñado, dosificado y controlado adecuadamente, puede producir demasiada contracción y agrietamiento que se refleje en las capas de rodadura bituminosa.
- Se debe seleccionar el tipo de cemento adecuado y realizar el número de pruebas necesarias, antes de pretender construir capas de suelo cemento con suelos de mediana plasticidad, ya que el mezclado de suelo y cemento podría resultar muy difícil.
- Las bases de suelo-cemento necesitan de capas de rodadura de concreto asfáltico, tratamientos superficiales, o capas de rodadura de concreto hidráulico, ya que tienen una baja resistencia al desgaste no es recomendable utilizarla como capa de rodadura.
- Una vez que se ha introducido el cemento en el suelo y se hace el humedecido, la colocación y compactación de las capas deben hacerse con gran rapidez para evitar el fraguado anticipado y tener resultados poco satisfactorios.
- Es necesario agilizar y realizar un mayor y mejor control de la construcción en obra que el que se hace utilizando los métodos normales.

- La liga entre diferentes capas es dificultosa.
- Produce mayor agrietamiento en los pavimentos flexibles.
- Es necesario contar con personal especializado.
- Es necesario el realizar cuidados preventivos para el personal por el daño que puede provocar el constante tocar o aspirar el polvo del cemento.

## **2.7 Componentes del Suelo Cemento.**

### **2.7.1 Suelos.**

Casi todos los tipos de suelo pueden ser usados para el suelo cemento. Algunas excepciones la constituyen los suelos orgánicos, las arcillas altamente plásticas, y los suelos arenosos pobremente reactivos. En todo caso es preferible usar los suelos granulares, ya que se pulverizan y se mezclan más fácilmente que los suelos de granos finos, y sus uso resulta más económico por requerir menor cantidad de cemento.

El ACI 230.1R hace referencia que la granulometría para los agregados no es muy restrictiva, pero señalando que; el tamaño límite de agregados es 50mm, con un porcentaje no menor de 55% de material que pase por la malla N°4 (4,75mm).

También indica que los agregados que pasen entre 5 y 35% por la malla N°200 producen el suelo cemento más económico<sup>6</sup>.

El MOP es más específico haciendo una diferenciación de granulometrías que se recomiendan para realizar mezclas en sitio y mezclas en planta, la cual se detalla en la siguiente tabla:

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Mezcla en sitio	Mezcla en planta
3/4" (19,0mm)	100	100
No.4 (4,75mm)	---	40 - 75
No.10 (2,00mm)	30 - 70	30 - 50
No.40 (0,425mm)	---	15 - 35
No.200 (0,075mm)	5 - 25	5 - 15

*Tabla 1.* Granulometrías para mezcla de suelo cemento en sitio y planta.

Para la aceptación de un suelo y emplearlo para el uso de bases de suelo-cemento (MOP 404-6.04) se debe comprobar mediante la clasificación que se indica en la AASHTO M-145 o ASTM D3282 y de acuerdo a los ensayos que se detallan a continuación:

---

<sup>6</sup> ACI (American Concret Institute) 230.1R Sección de Materiales estabilizados con Cemento Portland

- Factores de contracción; AASHTO T – 92
- Límite Líquido; INEN 691
- Límite e Índice Plásticos; INEN 692
- Análisis mecánico; INEN 696

### **2.7.2 Cemento.**

Para realizar mezclas de suelo cemento generalmente se usa cemento Portland Tipo I o Tipo II que cumplan con la norma NTE-INEN 152 (ASTM C 150). El cemento Portland puzolánico IP NTE INEN 490 (ASTM C 595) se lo puede usar por las ventajas que se obtienen al utilizar los cementos Tipo I ó II con adiciones de puzolana.

La Portland Cement Association (PCA) indica que cualquier tipo de cemento Portland que cumpla con los requisitos y pruebas de las últimas especificaciones ASTM C 150, C 595, C 1157 o C 91, podrá ser utilizado.

### **2.7.3 Agua.**

La utilización de agua para la elaboración de las mezclas de suelo cemento es muy indispensable para la hidratación del cemento Portland y así conseguir la compactación máxima de la mezcla.

Para los contenidos de agua en la mezcla de suelo-cemento tienden a variar en un intervalo del 10% al 13% en peso seco de la mezcla. Se recomienda que el agua que se utilice sea potable o esté relativamente limpia y libre de cantidades apreciables de

ácidos, álcalis y materia orgánica que puedan afectar al cemento. Pero este deberá de ser determinado en la etapa de diseño de la mezcla<sup>7</sup>.

En algunas especificaciones, como en el caso de Colombia y España, sugieren que el agua para elaborar mezclas de suelo cemento, deberá tener un PH entre 5.5 y 8.0 y el contenido de sulfatos no podrá ser superior a 1 gramo por litro de agua.

## **2.8 Propiedades del Suelo Cemento.**

Según el Centro Técnico del Hormigón (Holcim), las propiedades del suelo cemento, se encuentran influenciadas por factores tales 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

### **2.8.1 Propiedades Físicas del Suelo Cemento.**

#### *2.8.1.1 Densidad.*

La densidad del suelo-cemento se mide usualmente en términos de densidad seca, sin embargo, para control de la densidad de campo puede usarse la densidad húmeda. Para determinar el contenido de humedad adecuado y la densidad (referido

---

<sup>7</sup> ACI 230R.1

como contenido de humedad óptima y densidad seca máxima) a la cual la mezcla de suelo cemento compactada, se debe usar la prueba de humedad-densidad ASTM D 558<sup>8</sup>.

Se ha demostrado que, en general, para un determinado contenido de cemento, a mayor densidad corresponde una mayor resistencia a la compresión de las mezclas de suelo cemento no cohesivo.

Se ha comprobado que períodos de más de dos horas entre la mezcla y la compactación ocasionan disminuciones significativas tanto en la densidad como en la resistencia a la compresión del suelo cemento. También se ha comprobado que los efectos de estos retrasos han sido minimizados si el suelo cemento es intermitentemente mezclado varia veces por hora, y si el contenido de humedad al momento de la compactación corresponde al óptimo, o ligeramente por encima del óptimo.

Sobre este asunto el MOP 404-6.05.3. Compactación dispone lo siguiente: *‘En ningún caso deberá prolongarse la compactación final más de dos horas después de comenzado el mezclado, y en el caso de que por alguna razón la mezcla no hay sido compactada dentro del lapso indicado, será removida y retirada, a costa del Contratista’.*

#### 2.8.1.2 Permeabilidad.

La permeabilidad de la mayoría de los suelos, generalmente se reduce con la adición de cemento, dependiendo ésta del tipo de suelo, cantidad de cemento y el

---

<sup>8</sup> INECYC ( Instituto Ecuatoriano del cemento y el concreto)

grado de compactación dado. Se han obtenido valores típicos de permeabilidad para suelos arenos limosos que varían de 0,4 a  $3 \times 10^{-6}$  cm/seg, con porcentajes de cemento que no sobrepasan el 5%.

## **2.8.2 Propiedades Mecánicas del Suelo Cemento.**

### *2.8.2.1 Resistencia a La Compresión Simple.*

La resistencia a compresión simple en mezclas de suelo cemento, es un indicador del grado de reacción del suelo - cemento – agua y la relación de endurecimiento respecto al tiempo. Los valores obtenidos dependen de muchos factores entre ellos están:

- El contenido y tipo de cemento.
- Tipo de suelo.
- La energía de compactación aplicada.
- La eficiencia lograda en el mezclado.
- El tipo y cantidad de materia orgánica, sales y materiales deletéreos existentes en el suelo.
- Cantidad y calidad del agua.
- El tiempo transcurrido después de realizado el mezclado y compactación.
- La duración y forma de hacer el curado.
- Las medidas consideradas para disminuir el agrietamiento.
- Las características y efectividad de los aditivos o adiciones utilizadas.
- Tamaño y forma del espécimen de ensayo.

De acuerdo con ACI 230.1R, los rangos típicos de resistencia a compresión simple de 7 a 28 días de edad (saturados previamente al ensayo) varían de acuerdo a lo mostrado en la siguiente tabla:

<b>Rango de Resistencia a Compresión Simple</b>		
<b>Tipo de Suelo, SUCS</b>	<b>F'c a 7 días (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F'c a 28 días (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
GW, GC, GP, GM, SW, SC, SP, SM.	21 - 42	28 - 70
ML, CL.	17,5 - 35	21 - 63
MH, CH.	14 - 28	17,5 - 42

*Tabla 2.* Resistencia a compresión simple de 7 y 28 días.

#### 2.8.2.2 Resistencia a La Flexión.

El comportamiento del suelo cemento respecto a su resistencia a la flexión, se ha conocido directa e indirectamente a través de diversos ensayos, como por ejemplo elaboración y ensayo de vigas según ASTM D1635 y ensayos de tensión indirecta. En general se distinguen dos grupos o conjuntos de valores, los correspondientes a los suelos finos, y los obtenidos a través de mezclas con suelos granulares, se ha observado que el módulo de ruptura (MR) varía directamente con la resistencia a la compresión simple y con el peso volumétrico seco máximo de la mezcla, ACI 230.1R sugiere la siguiente ecuación como una “buena aproximación” entre la resistencia a compresión y el módulo de ruptura:

$$MR = 0.51(F'c)^{0.88}$$

Dónde:

MR= Módulo de ruptura en psi.

F'c= Resistencia a la compresión simple en psi.

### 2.8.2.3 *Módulo de Elasticidad.*

En el diseño estructural de pavimentos, es muy importante que cada una de las capas que forman la estructura, tengan la capacidad de distribuir las cargas impuestas por el tráfico vehicular generando la menor deformación posible. Esto se logra teniendo altos módulos de elasticidad en una o dos capas de la estructura de pavimento, el tratamiento de suelos con cemento eleva considerablemente los módulos de elasticidad, generando una rigidez tal, que puede ser aprovechada en beneficio de una conveniente distribución de carga y buen desempeño de la estructura del pavimento durante la vida de diseño.

Los parámetros de módulos de elasticidad estáticos, dinámicos y relaciones de poisson son muy variables, dependen principalmente del tipo de suelo y contenido de cemento en la mezcla. En general estos valores de módulos, son bajos comparados con valores de concreto y muy altos si son comparados con el suelo natural compactado, los valores típicos a 28 días de módulo de elasticidad estáticos en mezclas de suelo cemento elaboradas con suelos granulares varían de 40,000 Kg/cm<sup>2</sup> a 71,000 Kg/cm<sup>2</sup>.

La PCA y AASHTO sugieren valores entre 35,000 Kg/cm<sup>2</sup> y 148,000 Kg/cm<sup>2</sup> a 28 días para la mayoría de mezclas.

#### 2.8.2.4 Valor de Soporte de California (C.B.R.).

Según el IMCYC los valores del C.B.R., y otras propiedades exigidas para distintas capas de suelo-cemento se presentan en la tabla 3.

Los intentos para ligar los proporcionamientos de las mezclas con el valor relativo de soporte no han llevado a resultados concluyentes porque es usual que cualquier suelo cemento, y sobre todo los que contienen suelos granulares gruesos, alcancen sistemáticamente valores tan altos del C.B.R. que su interpretación sea poco confiable.

<b>Propiedades comúnmente exigidas a las mezclas de suelo cemento</b>				
<b>TIPO DE CAPA</b>	<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE A 7 DÍAS (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>C.B.R. %</b>	<b>EXPANSIÓN <sup>(1)</sup> %</b>	<b>PÉRDIDAS DE PESO EN P. HUMED. Y SEC. <sup>(2)</sup> %</b>
Sub-bases. Material de relleno para trincheras.	3.5 - 10.5	20 - 80	27	
Sub-bases o bases para tránsito muy ligero.	7.0 - 14.0	50 - 150	2	10
Bases para tráfico intenso.	14.0 - 56.0	200 - 600	2	14
Protecciones de terraplenes contra erosión y acción del agua	56	600	2	14
1) Después de siete días de curado a humedad constante. La resistencia de especímenes análogos sumergidos en agua no debe ser más o menos de un 20 %.				
2) Después de un periodo de inmersión en agua de cuatro días.				

*Tabla 3.* Propiedades exigidas a las mezclas de suelo cemento.

## **2.9 Diseño de Mezclas de Suelo Cemento.**

### **2.9.1 Criterios ACI 230.**

#### *2.9.1.1 Generalidades*

Los principales requisitos estructurales de una mezcla de suelo cemento endurecido, están basados en resistencia adecuada y durabilidad. Para aplicaciones de agua tales como en las calzadas, la permeabilidad puede ser el requisito principal. El ACI 230 no tiene una metodología como tal para el diseño de mezclas de suelo cemento, este hace referencia a diferentes metodologías de otras instituciones como por ejemplo de la PCA.

Según el ACI 230 en la Tabla 4 se presentan contenidos de cemento típicos para las aplicaciones en pavimentos. Se dan procedimientos de prueba detallados para evaluar proporciones de mezcla en el Manual de Laboratorio de Suelo-cemento de la Portland Cement Association (PCA) y por las siguientes normas de prueba estándar ASTM:

- ASTM D 558 Prueba para Relación de Densidad-Humedad de Mezclas de Suelo Cemento.
- ASTM D 559 Prueba de humedecimiento y secado de Mezclas de Suelo Cemento compactado.
- ASTM D 560 Prueba de congelamiento y deshielo de Mezclas de Suelo-Cemento compactado.
- ASTM D 1557 Relación humedad-densidad de suelos (Próctor Modificado).

- ASTM D 1632 Hechura y curado de especímenes de Suelo Cemento hechos en laboratorio

AASHTO	ASTM (SUCS)	Rango típico de cemento (% en peso)	Contenido típico de cemento para prueba de humedad-densidad (% en peso)	Contenido típico de cemento para pruebas de durabilidad (% en peso)
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	3-5	5	3-5-7
A-1-b	GW, GP, SM, SP	5-8	6	4-6-8
A-2	GM, GC, SM, SC	5-9	7	5-7-9
A-3	SP	7-11	9	7-9-11
A-4	CL, ML	7-12	10	8-10-12
A-5	ML, MH, CH	8-13	10	8-10-12
A-6	CL, CH	9-15	12	10-12-14
A-7	MH, CH	10-16	13	11-13-15

*Tabla 4.* Requerimientos típicos para varios grupos de suelos.

Como se mencionó antes, el ACI hace referencia a diferentes metodologías de proporcionamientos de mezclas de suelo-cemento que considera aceptable, para este caso consideraremos el de La Portland Cement Association (PCA) en la dosificación de mezclas de suelo-cemento.

El criterio de La Portland Cement Association (PCA) se resume en la Tabla 5 los volúmenes de cemento suficiente para prevenir pérdida de pesos mayores de los

valores indicados después de 12 ciclos de humedecimiento-secado-cepillado o congelamiento deshielo-cepillado son considerados adecuados para producir un suelo cemento durable.

AASHTO	ASTM (SUCS)	Máxima pérdida de peso permisible, %
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	14
A-1-b	GW, GP, SM, SP	14
A-2	GM, GC, SM, SC	14*
A-3	SP	14
A-4	CL, ML	10
A-5	ML, MH, CH	10
A-6	CL, CH	7
A-7	MH, CH	7
<p>*10 por ciento de pérdida máxima permisible de peso para suelos A-2-6 y A-2-7            Criterios adicionales:            1. Cambio máximo de volumen durante la prueba de durabilidad, debe de ser menor de 2% del volumen inicial.            2. El máximo contenido de agua durante la prueba debe ser menor que la cantidad requerida para la saturación de la mezcla en el tiempo del moldeo.            3. La resistencia a la compresión debe incrementar con la edad del espécimen.</p>		

*Tabla 5. Criterios de la PCA para ensayos de humedecimiento y secado.*

## 2.9.2 Método según PCA.

### 2.9.2.1 Método General de La PCA.

El método de diseño de mezcla de suelo cemento de la PCA está fundamentado en criterios específicamente de durabilidad (pruebas de mojado-secado

y de congelamiento-descongelamiento con especímenes compactados), y se resume en los siguientes pasos, apoyado por las normas ASTM correspondientes.

- Clasificar el suelo y de acuerdo a esto seleccionar varios contenidos de cementos distintos para la preparación de las mezclas iniciales. Tabla 4.
- Realizar pruebas de humedad – densidad para seleccionar la humedad óptima de compactación.
- Verificar el contenido inicial de cemento de acuerdo con los rangos establecidos en la Tabla 4.
- Preparar especímenes con diversas mezclas para realizar las pruebas de laboratorio pertinentes. Se preparan dos especímenes de cada mezcla con la humedad óptima obtenida en la prueba de compactación.
- Someter a uno de los especímenes a la prueba de Mojado-Secado y al otro a la de Congelación –Descongelación, aunque esta última no aplica en el país.
- Seleccionar el porcentaje de cemento comparando los resultados obtenidos con los de las pérdidas admisibles. Las pérdidas admisibles determinadas por la PCA se dan más adelante.
- Posteriormente, se sujetan las probetas a pruebas de resistencia a la compresión simple y a las pruebas adicionales que fuesen necesarias según lo determinen las necesidades del proyecto. En general, se especifica un mínimo aproximado de 21 kg/cm<sup>2</sup> a la compresión simple, a los siete días.

Según la Portland Cement Association, de los E.U.A, la dosificación adecuada de cemento es la mínima que cumple las condiciones siguientes:

- Las pérdidas de material desagregado durante los doce ciclos, tanto en ensayos de Congelación-Descongelación y Humedad-Secado no deben ser mayores de:
  - a) 14% para suelos A-1 .a, A-1 .b, A-3, A-2-4, y A-2-5.
  - b) 10 % para suelos A-2-6, A-2-7, A-4 y A-5.
  - c) 7 % para suelos A-6 y A-7.
- El aumento de volumen en las muestras no debe exceder en más del 2% del volumen inicial.
- El máximo contenido de agua no debe ser mayor que el necesario para llenar los huecos del suelo-cemento, una vez terminado de compactar.

El criterio de diseño de la PCA en cuanto a durabilidad se resume en la tabla 5 contenido de cemento suficiente para prevenir pérdidas de peso mayores a los valores de la

Tabla 5 después de 12 ciclos de humedecimiento – secado – cepillado son considerados adecuados para producir una mezcla de suelo cemento durable.

#### 2.9.2.2 *Método Simplificado o Corto de La PCA.*

La PCA en el documento Manual de Laboratorio de Suelo cemento, contempla un método corto para el diseño de mezclas, que se fundamenta en el uso de tablas y gráficos y en un número reducido de ensayos, los cuales consisten únicamente en ensayos granulométricos, relación humedad – densidad máxima y ensayos de resistencia a compresión simple a 7 días.

El método corto no siempre indica el mínimo contenido de cemento con que tratar un suelo, pero casi siempre proporciona un contenido de cemento dentro de la seguridad; que estará cercano al obtenido por el método detallado de la PCA.

Este método es aplicable para suelos predominantemente arenosos que tengan la granulometría siguiente:

- El contenido de finos es inferior al 50%
- El contenido de arcilla inferior al 20%
- El material retenido en la malla N° 4 debe ser menor del 45%
- No existen cantidades apreciables de sustancias orgánicas
- No se aplica margas, cretas, carbones, cenizas, y escoria.

El procedimiento general es el siguiente:

1. Se determina la granulometría del suelo.
2. Se determina el peso volumétrico del material retenido en la malla N° 4.
3. Si el suelo cumple los requisitos para aplicar el método, entonces se escogerá la variante que proceda.

El método corto tiene dos variantes: la variante “A” para materiales que pasan totalmente la malla N° 4, y variante “B” para los que se retienen en la malla N° 4. En todo caso, se deberá obtener el resultado de resistencia a compresión como el promedio de tres especímenes ensayados a 7 días de curado húmedo, previamente saturados por inmersión en agua por cuatro horas.

- ❖ La variante “A”, se desarrolla en los siguientes pasos:
1. Con los datos del análisis granulométrico y la ayuda de la Fig. 2, se estima el máximo peso volumétrico promedio inicial.
  2. Con los datos del peso volumétrico estimado y del porcentaje de material más fino que 0.05 mm, se acude a la Fig. 3 para obtener el contenido de cemento por peso; con el cual se prepararán los especímenes para el ensayo Proctor modificado o estándar.
  3. A partir de los resultados obtenidos en la prueba Proctor correspondiente se determina el máximo peso volumétrico seco y el contenido de humedad óptimo.
  4. Con el máximo peso volumétrico seco obtenido anteriormente se escoge otra vez con ayuda de la Fig. 3 el contenido de cemento requerido para fabricar los especímenes. La PCA indica que las cartas y procedimientos pueden ser modificados de acuerdo con el clima y condiciones locales.
  5. Se fabrican tres especímenes para el ensayo de resistencia a la compresión simple, con el peso volumétrico y la humedad óptima determinada en la prueba Proctor.
  6. De los resultados de las pruebas realizadas se obtiene la resistencia a la compresión simple promedio, de tres especímenes ensayados que deben tener siete días de curado húmedo y cuatro horas de saturación por inmersión en agua, inmediatamente antes de ser ensayados.

7. El valor promedio de las compresiones simples obtenidas deberá ser mayor que el que proporciona la Fig. 4 Si el valor obtenido es menor entonces se deberá realizar la serie de pruebas completas y si resultado mayor, se considerará que el contenido de cemento es adecuado.

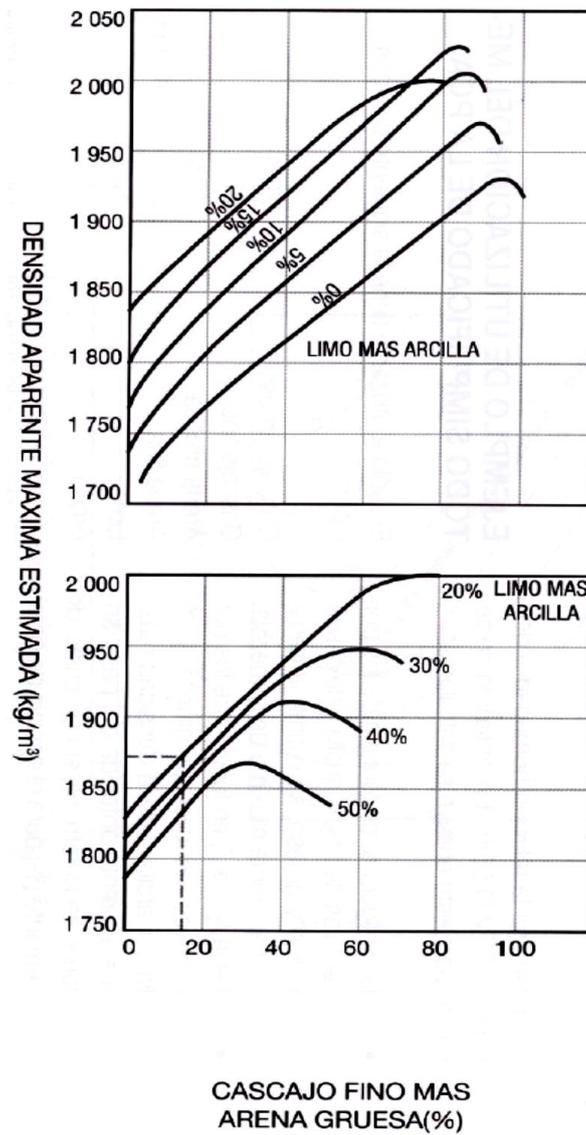


Figura 2. Método A - Estimación del peso volumétrico máximo promedio.

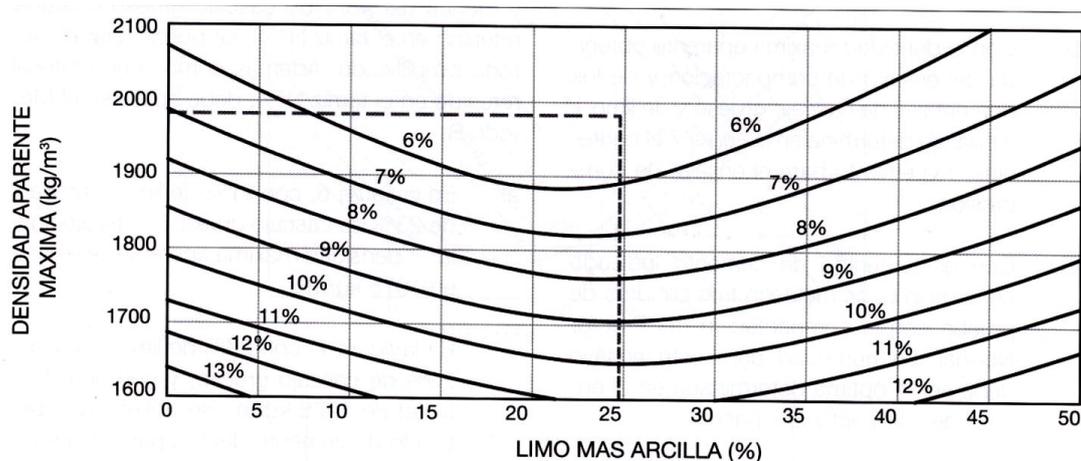


Figura 3. Método A - Obtención de contenidos de cemento.

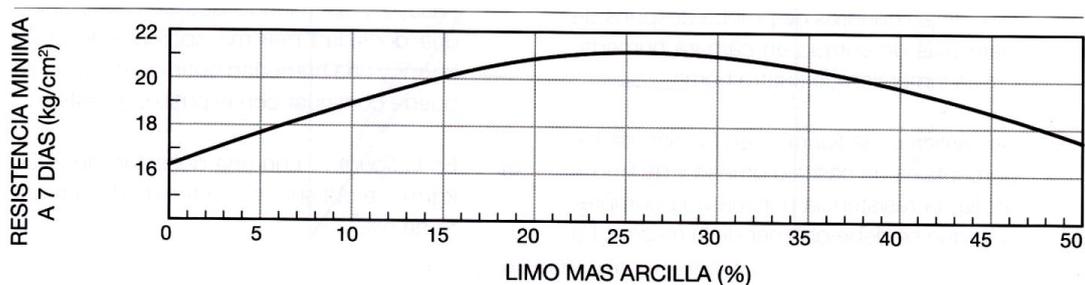


Figura 4. Método A - Resistencia a la compresión simple a los 7 días.

❖ La variante “B”, se desarrolla en los pasos siguientes:

1. Obtener el peso volumétrico máximo promedio utilizando la Fig. 5.
2. Este peso junto con el porcentaje de material menor de 0.05 mm (malla No 270) y el porcentaje de material retenido en la malla N° 4 se utilizaran para determinar el contenido de cemento en peso para el ensayo Proctor estándar por medio de la Fig. 6.

3. Realizar el ensayo Próctor estándar correspondiente para obtener el contenido de humedad óptimo y el máximo peso volumétrico seco.
4. Con el máximo peso volumétrico encontrado se determina el contenido de cemento en peso, ayudándose otra vez de la Fig. 6.
5. Con el contenido de cemento, así como con el máximo peso volumétrico seco y la humedad óptima obtenidas en el ensayo Próctor, se fabrican 3 especímenes para hacerles la prueba de resistencia a la compresión simple.
6. Del resultado de las pruebas se determina la resistencia a la compresión simple promedio de los especímenes, probados después de 7 días de curado húmedo y de tenerlos 4 horas en saturación por inmersión en agua, inmediatamente antes de hacer los ensayos.
7. Con la ayuda de la Fig. 7 se determina una resistencia a la compresión mínima permisible para la mezcla de suelo-cemento.

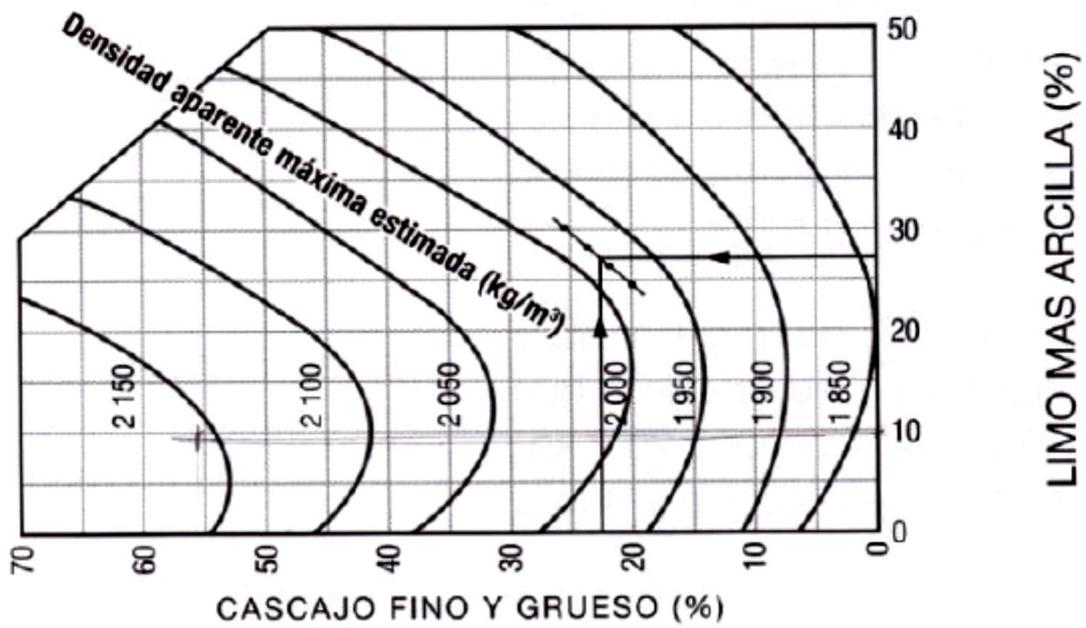


Figura 5. Método B - Obtención de peso volumétrico máximo aparente.

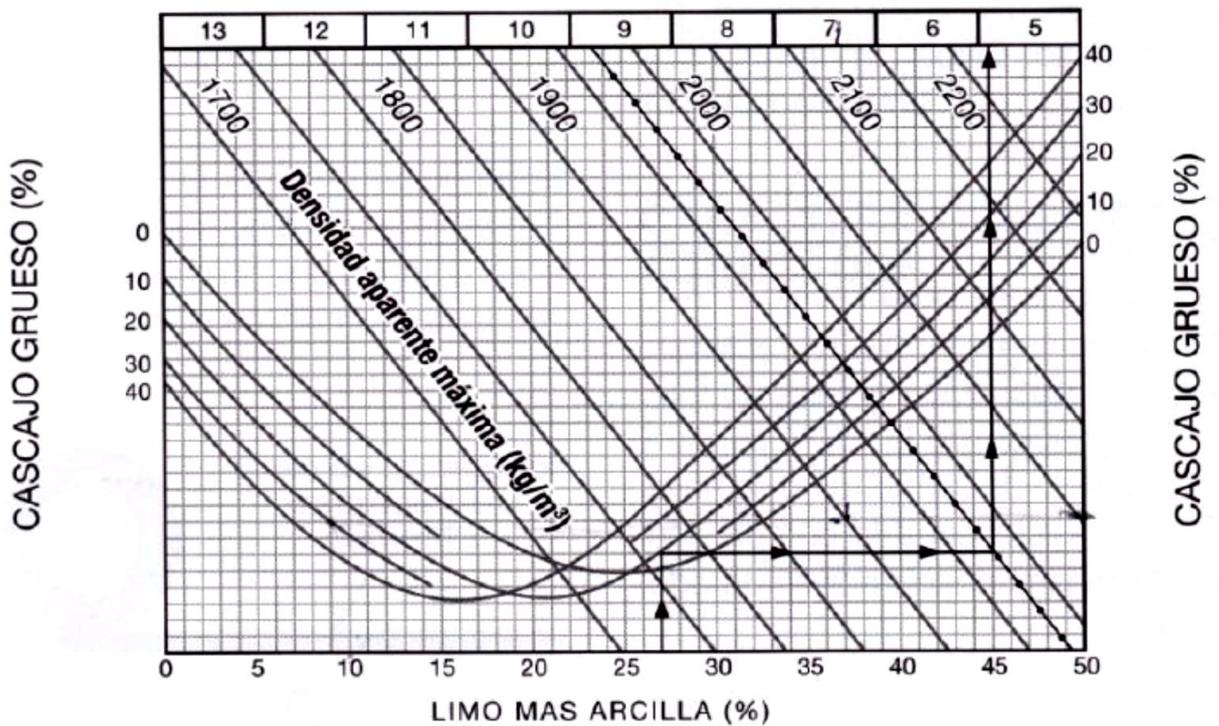


Figura 6. Método B - Obtención de porcentajes de cemento.

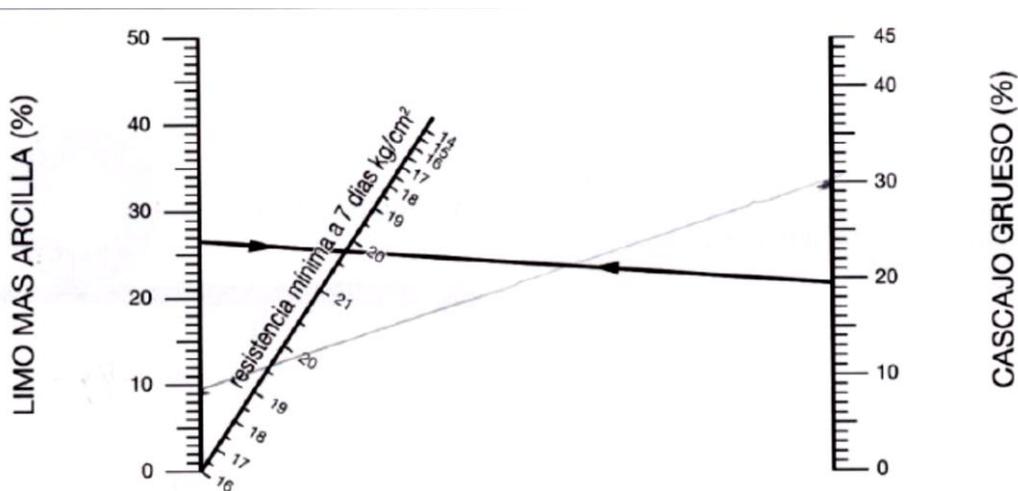


Figura 7. Método B - Obtención de la resistencia a la compresión simple a los 7 días.

## 2.10 Diseño Estructural de Bases y Sub-Bases de Suelo - Cemento.

Los principales fundamentos en los que se basan los diversos métodos de diseño de espesores son diferentes, algunos consisten en criterios de experiencias, mediante la observación del comportamiento real de diversos pavimentos durante su periodo de servicio, otros se fundamentan en conceptos de fatiga y esfuerzos admisibles, existiendo también métodos de diseño de espesores que se apoyan en la resistencia al cortante en la superficie de contacto base sub-base. Actualmente, existen métodos modernos de cálculo avanzado que no son muy conocidos, dichos métodos se fundamentan en teorías mecanicistas o empírico-mecanicistas, que interactúan con relaciones modulares, clima y módulos dinámicos de cada material como el caso de la Guía de Diseño AASHTO 2002 (en fase de prueba).

Todos estos métodos de diseño han reportado buenos resultados en los casos donde el diseño estructural del pavimento se ha realizado adecuadamente. Es muy importante

hacer énfasis en esto, ya que la determinación y cálculo del espesor de suelo cemento no implica el diseño estructural total del pavimento, el buen juicio en el diseño estructural e interrelación adecuada con las demás capas que conforman la estructura del pavimento, influirán en el buen desempeño de dicha estructura.

### **2.10.1 Metodología AASHTO 1993.**

En nuestro país la metodología de diseño de estructuras de pavimento utilizado es la metodología AASHTO 1993. La finalidad del diseño de pavimentos tanto flexibles como rígidos, es determinar el espesor de las diferentes capas de la estructura basado en el nivel de tránsito como en las propiedades de los materiales; el período de desempeño de un pavimento está en función de la pérdida de serviciabilidad.

#### *2.10.1.1 Pavimentos Flexibles:*

En general el diseño de espesores para pavimentos flexibles está basado en el tránsito esperado, en el periodo de diseño, en el módulo de resiliencia y en el número estructural, en este es que se pondera el aporte estructural que debe tener la capa de base de suelo cemento por medio del coeficiente estructural de capa correspondiente a dicha capa y en función de esto se diseña el espesor de la capa de base.

Hay que tener presente que la estructura de los pavimentos flexibles está integrada por la subrasante, sub-base, base y superficie de rodamiento, el método AASHTO tiene

como fin determinar los distintos espesores de las capas que conforman el paquete estructural.

Las variables a considerar en el método son las siguientes:

1. Variables en función del tiempo.
  - Periodo de diseño.
  - Vida útil.
2. Variables en función del tiempo.
  - Número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips (80 kN) (ESAL's).
3. Confiabilidad.
4. Sub-rasantes expansivas.
5. Serviciabilidad.
6. Propiedades de los materiales.
7. Drenajes.

De acuerdo a la guía de diseño de pavimentos AASHTO 1993 la fórmula de diseño es la siguiente:

$$\log_{10} W_{18} = Z_r S_o + 9.36 \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{\frac{0.40 + 1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_r - 8.07$$

En donde:

$W_{18}$  = Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (80 kN) calculadas conforme el tránsito vehicular.

$Z_r$  = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R.

$S_o$  = Desviación estándar de todas las variables.

$\Delta PSI$  = Pérdida de serviciabilidad.

$M_r$  = Módulo de resiliencia de la subrasante.

SN = Número Estructural

En los pavimentos de mezclas asfálticas por medio de la fórmula de diseño se obtiene el número estructural (SN) y en función del mismo se determinan los distintos espesores de las capas que conforman el paquete estructural; el diseño está basado en la identificación del número estructural del pavimento flexible y la cantidad de ejes de carga transitando.

El procedimiento consiste en determinar el módulo de resiliencia de la subrasante, el tránsito esperado en el periodo de diseño, la serviciabilidad inicial y final, la desviación estándar y la confiabilidad, esta depende de la importancia de la vía donde será construida la estructura de pavimento ya que si la confiabilidad es más alta el diseño de espesores será más conservador. Al tener estas variables se puede calcular el número estructural del pavimento mediante la fórmula de diseño presentada anteriormente o mediante el nomograma siguiente figura 8.

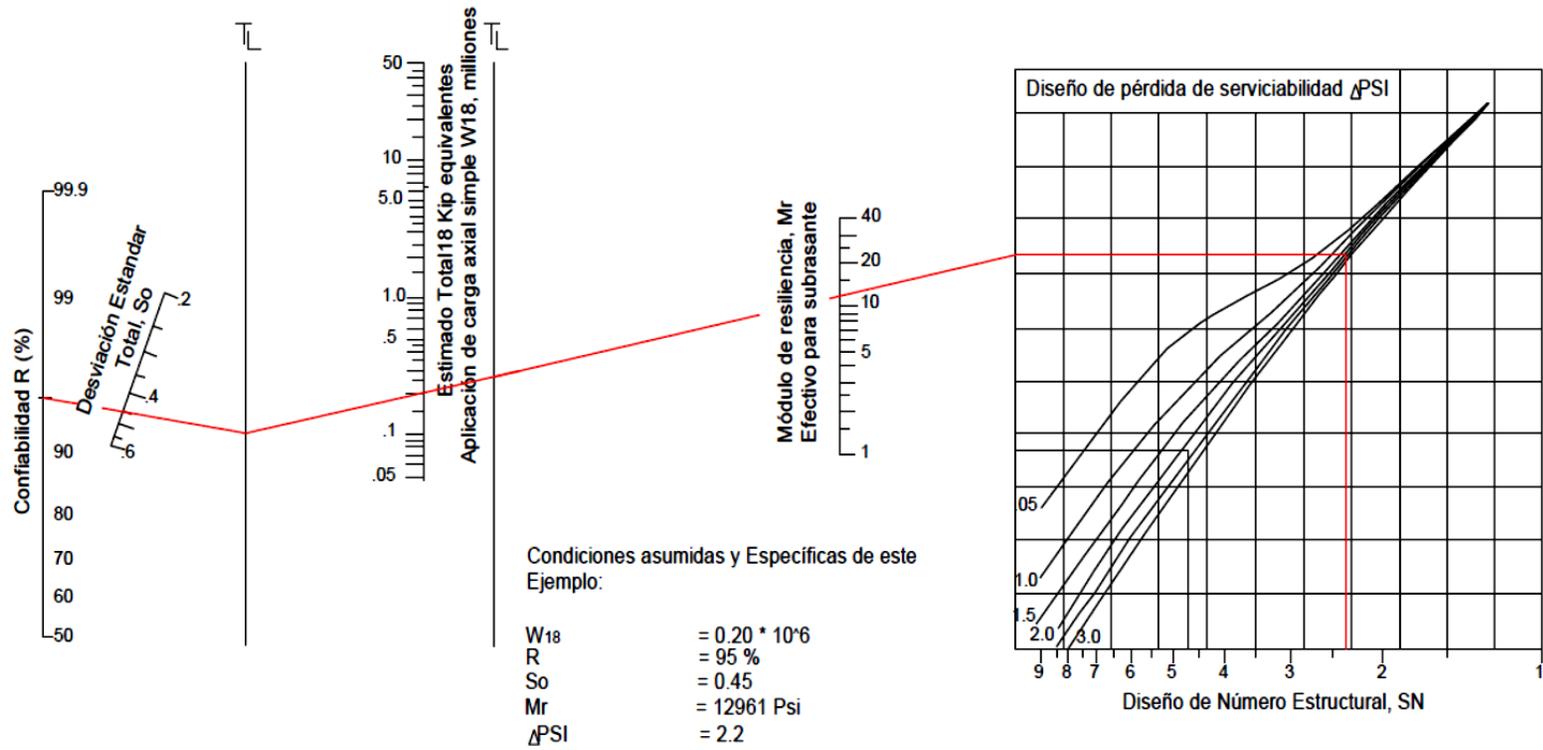


Figura 8. Nomogramas para el diseño de espesores en pavimentos flexibles AASHTO 93.

El número estructural está relacionado con los espesores de las diferentes capas del paquete estructural, los diferentes coeficientes de capa y coeficientes de drenaje que los determina las condiciones de drenaje del pavimento como se muestra en la siguiente fórmula:

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times m_2 \times D_2 + a_3 \times m_3 \times D_3$$

Dónde:

- $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  son los coeficientes estructurales o de capa, de la superficie de rodadura, base y sub-base respectivamente.
- $m_2$ ,  $m_3$  son los coeficientes de drenaje para base y sub-base.
- $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  son los espesores de capa en pulgadas para la superficie de rodadura, base y sub-base.

Los coeficientes de capa se pueden calcular por medio de una campaña de resistencia a la compresión y haciendo retrocalculo, la guía AASHTO 1993 presenta en la Figura 9 en la cual se puede determinar el coeficiente de capa de una base estabilizada teniendo ya sea el módulo de resiliencia o la resistencia a la compresión. Al tener el coeficiente de capa de la base estabilizada con suelo cemento, el coeficiente de drenaje y el número estructural puede determinarse el espesor de la capa de base y de las demás capas del pavimento siguiendo normas establecidas por la guía como lo son la estabilidad y factibilidad de la construcción y determinar los espesores mínimos en función del número estructural.

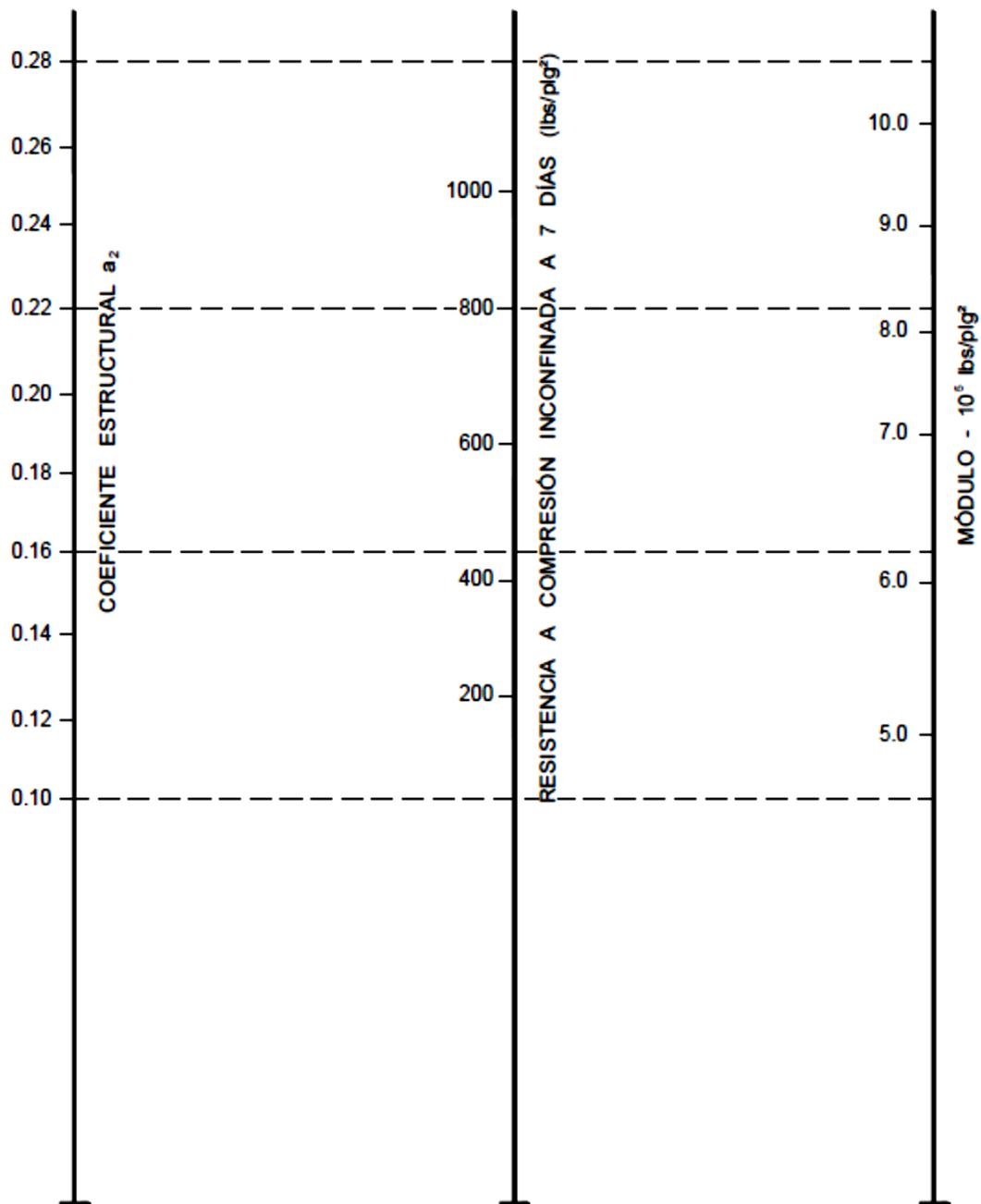


Figura 9. Coeficiente estructural de la capa de base estabilizada con cemento AASHTO 93.

El procedimiento de espesores mínimos en función del número estructural no es aplicable para determinar espesores de capas de suelo-cemento ya que estas tienen módulos de resiliencia mayores de 280 Mpa (40,000 PSI) que es el máximo permitido para usar este concepto; en estos casos, el espesor de la capa colocada sobre otra que tenga estas características, deberá ser definida por el costo-eficiencia de la misma o utilizar espesores mínimos desde el punto de vista constructivo; esto quiere decir, que como la capa de abajo tiene un módulo de resiliencia alto, la capa que se coloque encima de ella deberá tener como mínimo un módulo de resiliencia igual o mayor, y se decidirá si es necesario colocarla o se utiliza el mínimo especificado.

### **2.10.2 Método según PCA.**

Los fundamentos principales en los cuales se basa este método son los criterios de resistencia y durabilidad exigidos por la PCA, asimismo se exige que la construcción se haga siguiendo las normas correspondientes.

#### *2.10.2.1 Fundamentos principales.*

- a) El número de repeticiones de carga que produce la falla del pavimento es función del radio de curvatura en flexión.
- b) El comportamiento debido a la fatiga varía ampliamente de acuerdo al tipo de suelo usado en la mezcla, por tal motivo se acordó dividir los suelos en dos grupos: granulares y finos. De acuerdo con la clasificación AASTHO son:

Suelos granulares: A-1, A-3, A-2-4 y A-2-5.

Suelos finos: A-2, A-2-7, A-4, A-5, A-6 y A-7.

### 2.10.2.2 Procedimiento del método.

Los parámetros que intervienen son:

- a) Capacidad de soporte de la subrasante: Evaluada por medio del módulo de reacción  $k$ , determinado por ensayos de placa de carga AASHTO T222, o a través de correlaciones con valores de CBR.
- b) Periodo de diseño.
- c) Tránsito.
- d) Calidad del suelo cemento.

La calidad del suelo cemento se mide por su resistencia a la falla por fatiga, tomando como unidad de consumo de fatiga la correspondiente a mil ejes sencillos de 8.2 ton. En función de esta unidad, se ha cuantificado el consumo de fatiga ocasionado por las distintas cargas de eje sobre el suelo cemento elaborado con suelos granulares o con suelos finos. Los valores de estos coeficientes se muestran en la Tabla 6 basta para ello multiplicar el número esperado de repeticiones de cada eje (tomado en miles) por su correspondiente coeficiente de "consumo de fatiga" para obtener el "Factor Fatiga" de tal eje. La suma de los factores de fatiga por eje proporciona finalmente el "Factor Fatiga del suelo-cemento".

<b>Coeficientes de consumo de fatiga según La P.C.A.</b>		
<b>CARGA POR EJE (ton)</b>	<b>SUELO-CEMENTO Tipo granular</b>	<b>SUELO-CEMENTO Tipo granular con finos</b>
<b>EJES SIMPLES</b>		
13.6	12,500,000.0	3,530.0
12.5	1,270,000.0	1,130.0
11.8	113,000.0	337.0
10.9	8,650.0	93.0
10.0	544.0	23.3
9.1	27.0	5.2
8.2	1.0000	1.0000
7.3	0.2500	0.1600
6.4	0.0004	0.0200
5.4	0.0000	0.0018
<b>EJES TANDEM</b>		
22.7	12,500,000.0	3,530.0
21.8	3,210,000.0	1,790.0
20.8	792,000.0	890.0
20.0	186,000.0	431.0
19.0	41,400.0	203.0
18.1	8,650.0	93.0
17.2	1,690.0	41.1
16.3	305.0	17.5
15.4	50.4	7.1
14.5	7.5	2.7400
13.6	1.0000	1.0000
12.5	0.1200	0.3410
11.8	0.0120	0.1070
10.9	0.0010	0.0310
10.0	0.0000	0.0081
9.1	0.0000	0.0018

Tabla 6. Coeficientes de consumo de fatiga según PCA.

- e) Espesor de la capa de suelo cemento: Con los gráficos que proporciona el método se determina el espesor total en función del módulo k de la subrasante, del factor fatiga del pavimento y del tipo del suelo-cemento elaborado con suelo granular Fig.10 o suelo fino Fig. 11.
- f) Recubrimiento: Como norma general, el suelo-cemento debe estar provisto de un recubrimiento que sirva como capa de rodadura y lo proteja de la erosión causada por el agua y de la abrasión producida por las llantas en el movimiento y la frenada de los vehículos. Por otra parte, la colocación de un recubrimiento contribuye a mejorar la capacidad estructural del pavimento y permite, por tanto, reducir el espesor calculado de acuerdo a los ábacos proporcionados por la PCA, o bien por otro criterio. En la Tabla 7 se indican las recomendaciones de espesores para la carpeta asfáltica de la PCA.

ESPESOR DE SUELO-CEMENTO (cm)	ESPESORES DE CARPETA ASFÁLTICA (cm)	
	RECOMENDADO	MÍNIMO
12.5 - 15	2 - 4	TBSS*
17.5	4 - 5	TBSD**
20.0	4 - 6.5	2.5
22.5	5 - 7.5	5.0
*TBSS = Tratamiento superficial simple. **TBSD = Tratamiento superficial doble.		

Tabla 7. Espesores de carpeta asfáltica según PCA.

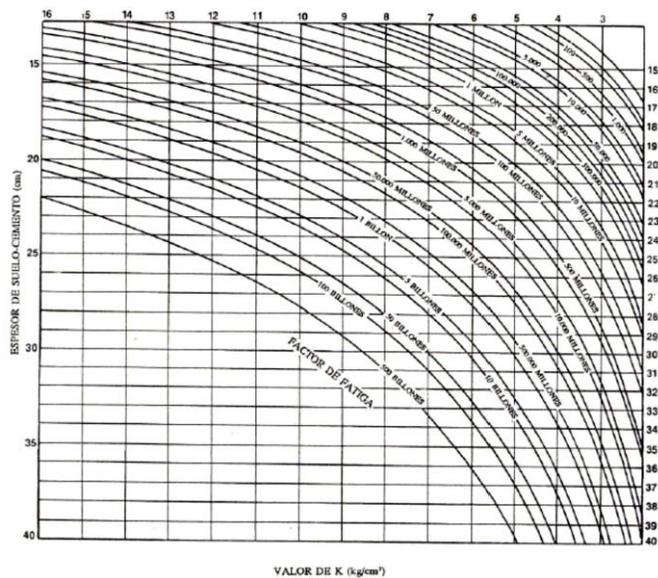


Figura 10. Ábaco para el diseño de espesores de suelo-cemento para suelos granulares.

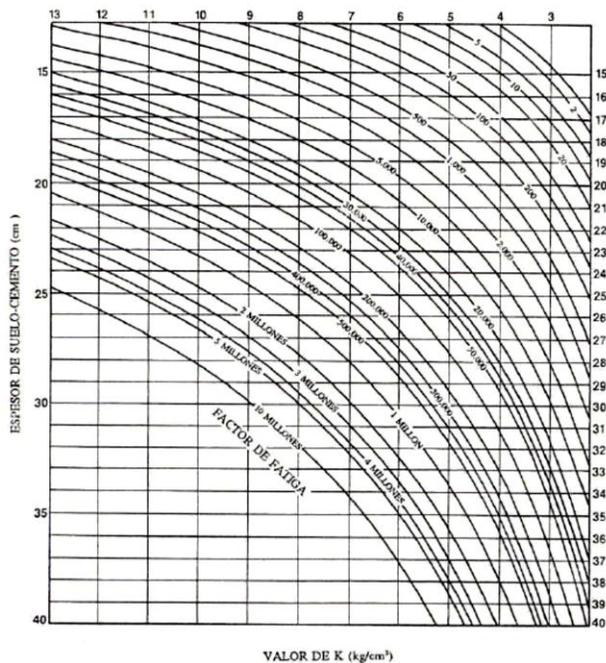


Figura 11. Ábaco para el diseño de espesores de suelo-cemento para suelos finos.

Este método de cálculo de espesores de la PCA, es muy conocido en muchos países de América, sin embargo, es común que los diseños estructurales sean realizados utilizando la Guía de diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993, en donde es posible diseñar el espesor de base de suelo cemento en conjunto con las demás capas que conforman la estructura de pavimento.

## Capítulo III

### Metodología

#### 3.1 Diseño de Mezcla de Suelo-Cemento

Para la elaboración del diseño de la mezcla de suelo-cemento se deben realizar los siguientes ensayos, para el suelo seleccionado:

- Análisis granulométrico.
- Determinación de Límite Líquido.
- Determinación de Límite Plástico e Índice Plástico.

Para el siguiente estudio se ha seleccionado un suelo que corresponde a una Base Clase 1A, la cual se la obtiene de las canteras con 100% de trituración, a continuación se detalla la granulometría especificada por el MTOP y se muestra en la tabla 8:

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Tipo A	Tipo B
2"	100	--
1½"	70 - 100	100
1"	55 - 85	70 - 100
¾"	50 - 80	60 - 90
⅜"	35 - 60	45 - 75
Nº4	25 - 50	30 - 60
Nº10	20 - 40	20 - 50
Nº40	10 - 25	10 - 25
Nº200	2 - 12	2 - 12

Tabla 8. Granulometría de base clase 1 según MTOP.

### 3.1.1 Descripción de Resultados de Suelo a Estabilizar.

El suelo seleccionado es proveniente de la Cantera AGRE S.A. ubicada en el sector denominado La Sequita, a la entrada de la ciudad de Portoviejo. La cantera es de libre aprovechamiento. En esta cantera se tomaron muestras para realizar los ensayos para determinar sus características. A continuación se detallan los resultados obtenidos de los ensayos.

#### 3.1.1.1 Granulometría e Índices Físicos.

TAMIZ	% QUE PASA
2"	100
1½"	100
1"	82.64
¾"	69.55
⅜"	51.31
Nº4	35.03
Nº10	21.31
Nº40	10.35
Nº200	3.70

Tabla 9. Granulometría del suelo a estabilizar.

HUMEDAD NATURAL:	3.50%
LIMITE LIQUIDO:	-----
LIMITE PLASTICO:	-----
ÍNDICE PLÁSTICO:	NP
CLASIFICACIÓN	
AASHTO:	A-1

Tabla 10. Índices físicos del suelo a estabilizar.

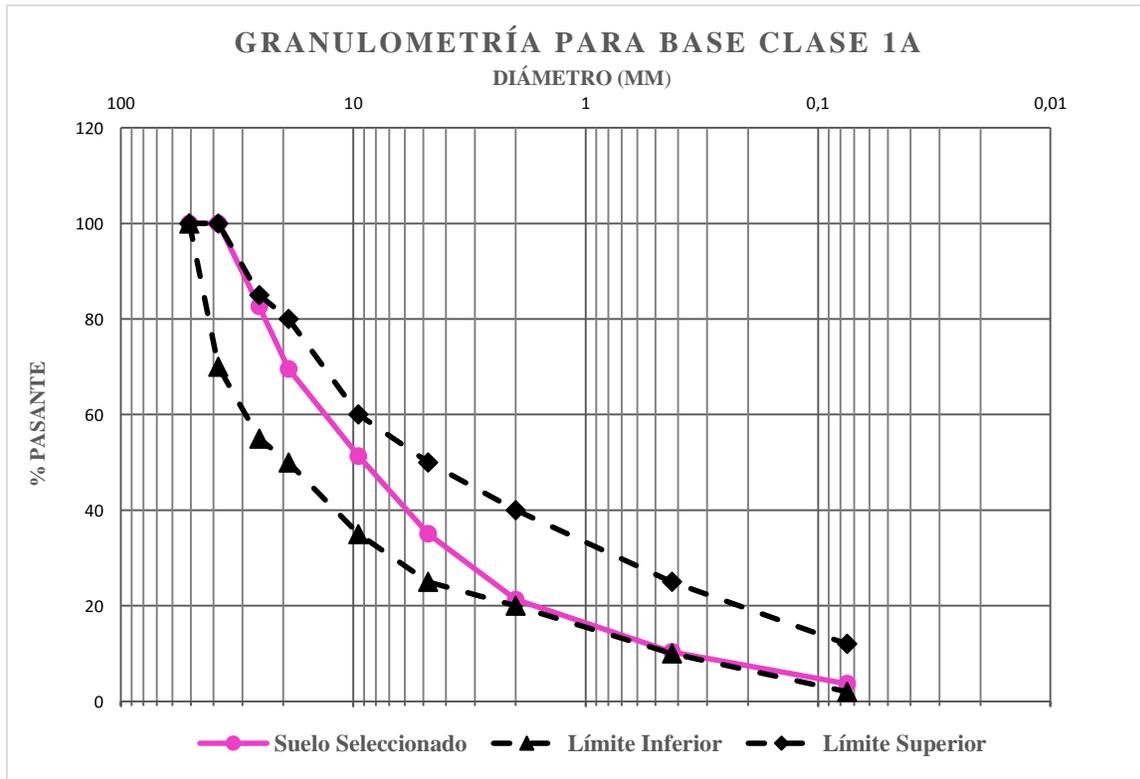


Figura 12. Curva Granulométrica de Base Clase 1A vs Suelo Seleccionado.

### 3.1.2 Selección del Porcentaje de Cemento.

Para la selección del porcentaje de cemento con el que se ha de realizar la mezcla de suelo-cemento, se utilizará porcentajes de cemento de 2%, 4% y 6%, y para obtener el porcentaje de cemento óptimo de la mezcla se realizó el siguiente procedimiento.

#### 3.1.2.1 Realización de Ensayo Proctor para determinar Humedades Óptimas en las Mezclas de Suelo Cemento para los diferentes Porcentajes.

Para el desarrollo de la investigación se utilizó el Próctor Modificado según la norma AASHTO T 180, ya que la energía de compactación proporcionada es compatible

y representativa a las compactaciones de campo realizadas con los equipos modernos de compactación.

Se procedió a realizar el ensayo a las diferentes mezclas de suelo-cemento, pero teniendo en consideración que la mezcla contiene cemento, por lo que la compactación se debe realizar en el menor tiempo posible para garantizar un adecuado proceso de hidratación del cemento, con lo cual se obtuvo el porcentaje de humedad óptimo y la densidad máxima para los diferentes porcentajes de cemento en peso y se obtuvieron los resultados mostrados en la siguiente tabla.

<b>Porcentaje de Cemento</b>	<b>Humedad Óptima (%)</b>	<b>Densidad Máxima (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
2	8.40	2209.0
4	6.80	2196.0
6	7.00	2234.0

*Tabla 11.* Resultados del Ensayo Próctor para las diferentes Mezclas de Suelo Cemento.

### *3.1.2.2 Elaboración de Especímenes de Prueba para los diferentes Porcentajes de Suelo Cemento a Investigar.*

La elaboración de los especímenes se hará acorde a la norma ASTM D 1632-96, la cual comprende el procedimiento de elaboración y curado de especímenes de suelo cemento para compresión y flexión, la cual utiliza moldes de 2.8 pulg. (71.1 mm) de

diámetro y 5.6 pulg. (142.2 mm) de altura (relación altura-diámetro de 2), pero permite utilizar moldes de diferentes tamaños:

Los especímenes para la prueba de compresión serán cilindros con una longitud igual a dos veces el diámetro. Este método mantiene especímenes de 2.8 in. (71 mm) de diámetro y de 5.6 in. (142 mm) de longitud, pero puede usarse el mismo procedimiento para realizar especímenes más grandes o más pequeños.<sup>9</sup>

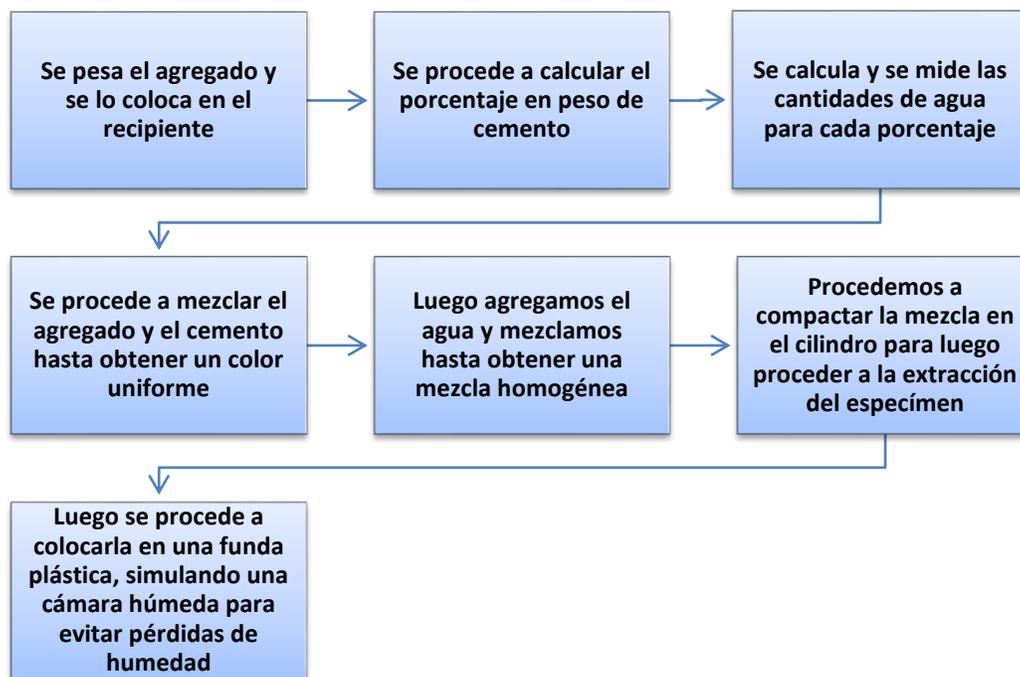
Esto nos remite a la norma ASTM D 1633-96 (Método estándar para compresión de cilindros de suelo cemento), la cual permite utilizar moldes de 4.0 pulg. (101.6 mm) de diámetro y de 4.584 pulg. (116.4 mm) de altura (Método A, sección 1.2.1 de la norma). Este método está restringido para materiales que retienen el 30% o menos de partículas en el tamiz  $\frac{3}{4}$  (19.0 mm), requisito que es cumplido por el material a utilizar para la investigación, por lo que los especímenes serán realizados mediante este método.

La energía de compactación será la misma utilizada en la realización del ensayo Proctor Modificado a cada una de las mezclas de suelo-cemento, y se procederá a moldear los especímenes con la Densidad Seca Máxima y la Humedad Óptima calculada en el ensayo Proctor.

A continuación se muestra el procedimiento en el cual se detalla la elaboración de la mezcla de suelo-cemento para la realización de los especímenes.

---

<sup>9</sup> Norma ASTM D 1632, sección 8.



*Figura 13.* Proceso de elaboración de especímenes de prueba.

### 3.1.2.3 Ensayo para la determinación de la Resistencia a la Compresión Simple.

El ensayo de compresión estudia el comportamiento de un material sometido a un esfuerzo de compresión progresivamente creciente, ejercido por una máquina apropiada, hasta conseguir la falla del material. La resistencia a la compresión se mide ensayando probetas cilíndricas en una máquina de ensayos de compresión, la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste la carga y se reporta en (Kg/cm<sup>2</sup> o psi).

Las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de suelo-cemento cumpla con los requerimientos de resistencia especificada, F'c.

Los requerimientos para la resistencia a la compresión en suelo-cemento pueden variar, se requiere resistencias superiores a las presentadas en la Tabla 2 a la edad de 7 días, luego de haber colocado los especímenes a saturación por medio de inmersión en agua durante un periodo de cuatro horas, esto con el objetivo de simular las condiciones más desfavorables a las que puede estar expuesto el material. Cumplidas las cuatro horas los especímenes son sacados e inmediatamente ensayados a compresión.

A continuación se presenta los resultados obtenidos del ensayo de compresión simple para los diferentes porcentajes de cemento.

Porcentaje de Cemento (%)	Edad en Días	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
2	7	80,12	2500	31	27
2	7	80,12	1950	24	
2	7	80,12	1950	24	
4	7	80,12	5250	66	58
4	7	80,12	4800	60	
4	7	80,12	3900	49	
6	7	80,12	7500	94	82
6	7	80,12	7000	87	
6	7	80,12	5200	65	

Tabla 12. Resultados del Ensayo de Compresión Simple de Suelo Cemento.

### **3.1.3 Selección del Porcentaje Óptimo de Cemento**

Con los resultados obtenidos en los ensayos se procede a determinar el porcentaje óptimo de cemento, tomado en consideración el aspecto económico y constructivo, además se seleccionará el porcentaje de cemento con el cual la mezcla cumpla con la resistencia a la compresión simple de  $21\text{Kg/cm}^2$  ensayados a la edad de 7 días.

Al realizar los ensayos se pudo verificar que mientras se iba incrementando la cantidad de cemento, las características mecánicas del suelo mejoraban considerablemente, pero esto no es muy beneficioso dado que mientras el contenido de cemento se incrementa la base se vuelve más rígida, lo que provocaría mayores agrietamientos a cortas longitudes.

## **3.2 Estudios en la Vía Paso Lateral de Jaramijó.**

Tomamos como punto de partida el Estudio la vía Paso Lateral de Jaramijó, de la Provincia de Manabí, la cual tiene una longitud de 3.6 Km, discurre por terrenos llanos ondulados con presencia de algunas lomas que alcanzan la cota 37 msnm.

La investigación tiene como objetivo la sustitución de la Capa de Material Clasificado (BASE) por una Base de Suelo-Cemento con material Granular de la Zona. Dicho esto tenemos a nuestra disposición los Datos del Diseño que realizó la Compañía C.P.R. Asociados Cía. Ltda. para esta vía.

### 3.2.1 Datos del Diseño de Pavimento en la Vía Paso Lateral de Jaramijó.

#### 3.2.1.1 Tráfico

En el diseño de pavimentos se considera al tráfico como el dato más influyente en el dimensionamiento de los espesores de las distintas capas. El número de ejes equivalentes del proyecto es de 7'268.434.

#### 3.2.1.2 Módulo resiliente de la subrasante

A continuación se detalla en la tabla 13 el módulo resiliente de la subrasante de la vía de estudio:

UBICACIÓN	Mr (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mr (Psi)
Paso Lateral de Jaramijó	170	2418

Tabla 13. Módulo de la subrasante de la vía de estudio.

#### 3.2.1.3 Materiales de construcción a utilizar

Los materiales para base, subbase y agregados para asfalto serán extraídos en su totalidad de las canteras autorizadas. A continuación se detallan los coeficientes estructurales y módulos elásticos de los materiales que conforman la estructura de pavimento de la vía en estudio.

- Carpeta Asfáltica

$$a_1 = 0.42$$

$$E_1 = 30000 \text{ Kg/cm}^2$$

- Base

La base granular a utilizar en el pavimento debe tener un CBR mínimo de 80%.

$$a_2 = 0.13$$

$$E_2 = 2200 \text{ Kg/cm}^2$$

- Subbase

La subbase granular a utilizar en el pavimento nuevo debe tener un CBR de 30%.

$$a_3 = 0.11$$

$$E_3 = 1050 \text{ Kg/cm}^2$$

- Mejoramiento

$$a_4 = 0.09$$

$$E_4 = 928 \text{ Kg/cm}^2$$

#### 3.2.1.4 *Confiabilidad R y desviación estándar.*

El nivel de confiabilidad general seleccionado es 90%.

Desviación normal estándar  $Z_r = -1,282$

Desviación general estándar  $S_o = 0,45$

### 3.2.1.5 Factores de drenaje

Para evaluar los coeficientes de drenaje se establece primeramente la calidad de drenaje que se tendrá por las características de la base, sub-base y mejoramiento, tomando en cuenta que los materiales a utilizar son nuevos, con aceptables niveles de permeabilidad para el caso de los pavimentos flexibles, se asume que el tiempo requerido para drenar el 50% del agua de la capa es de 1 día, calificado como buen drenaje según el cuadro siguiente que se incluye en la metodología AASHTO.

<b>CALIDAD DEL DRENAJE</b>	<b>TIEMPO RECOMENDADO DE SALIDA DEL AGUA</b>
EXCELENTE	2 HORAS
BUENO	1 DIA
REGULAR	1 SEMANA
MALO	1 MES
MUY MALO	NO DRENA

*Tabla 14.* Calidad de drenaje en pavimentos según AASHTO 93.

Luego se estimó el porcentaje de tiempo que la estructura estará expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación, obteniéndose el factor de drenaje a partir del cuadro que se muestra.

<b>Calidad del drenaje</b>	<b>Porcentaje de tiempo con la estructura expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación</b>			
	<b>Menor 1%</b>	<b>1 – 5%</b>	<b>5 – 25%</b>	<b>Mayor 25%</b>
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

*Tabla 15.* Porcentaje de drenaje en pavimentos según AASHTO 93.

El factor de drenaje para la capa de base es 1.00, sub-base 1,00 y mejoramiento 0,80 por tratarse de un drenaje de buena calidad, porque además el proyecto se ubica en la región costa donde el tiempo que la estructura del pavimento se verá expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación es superior al 25% del tiempo.

### 3.2.1.6 Número Estructural (SN) del Pavimento de la Vía de Estudio.

El procedimiento de diseño según el método AASHTO, se basa en un número estructural que representa la resistencia estructural de un pavimento, el número estructural adoptado para la vía de estudio es de: **SN= 7.00**.

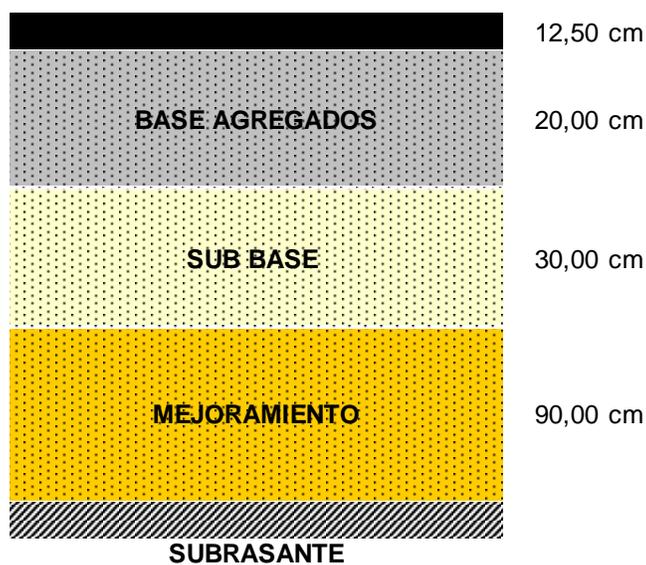


Figura 14. Diseño de Pavimento Flexible de la Vía Paso Lateral de Jaramijó.

### 3.3 Análisis de Resultados Obtenidos.

En este tema se procede a analizar los resultados obtenidos de las resistencias a compresión simple a los 7 días con los distintos porcentajes de cemento, de tal manera que podamos obtener con el menor porcentaje de cemento, una resistencia igual o superior a 4 MPa.

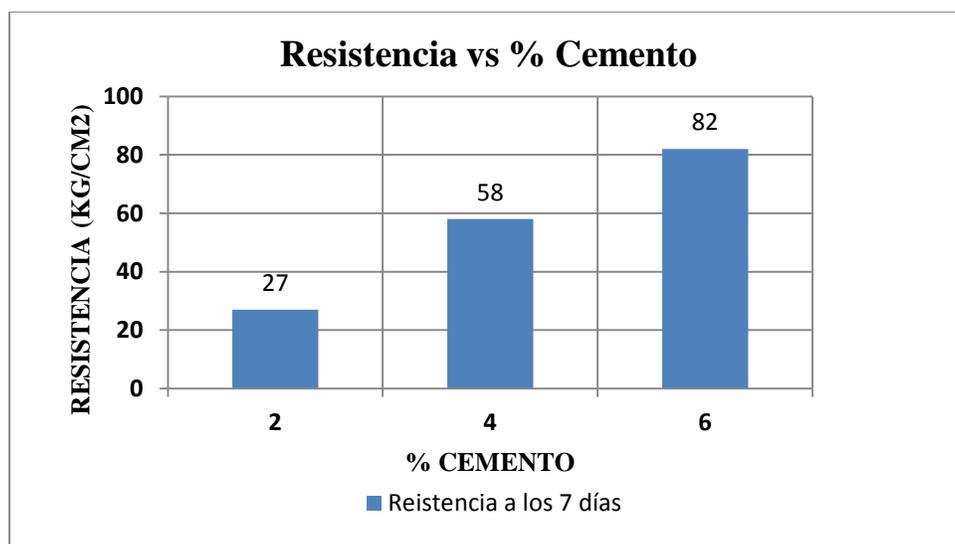


Figura 15. Resistencia a la compresión a los 7 días de probetas.

Analizando los resultados podemos observar que el porcentaje de cemento que cumple con la resistencia de 4Mpa (40,12kg/cm<sup>2</sup>) es del 4%.

Para el nuevo diseño de pavimento adoptaremos este porcentaje de cemento con el cuál calcularemos los nuevos parámetros de diseño para la BAEC.

### 3.4 Cálculo de Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Capa de la Base Estabilizada.

Con los resultados ya obtenidos de los diferentes ensayos de laboratorio y de la selección del porcentaje de cemento óptima con la que se va a diseñar la BAEC, se procede a obtener los parámetros necesarios para realizar el nuevo diseño de pavimento.

Para obtener dichos parámetros de diseño se utilizara el nomograma desarrollado por la AASHTO 93 para calcular el coeficiente de capa y el módulo elástico para BAEC. El dato de entrada será el valor obtenido del ensayo de resistencia a la compresión realizado a los 7 días, el cual es de 58 Kg/cm<sup>2</sup> (825 psi).

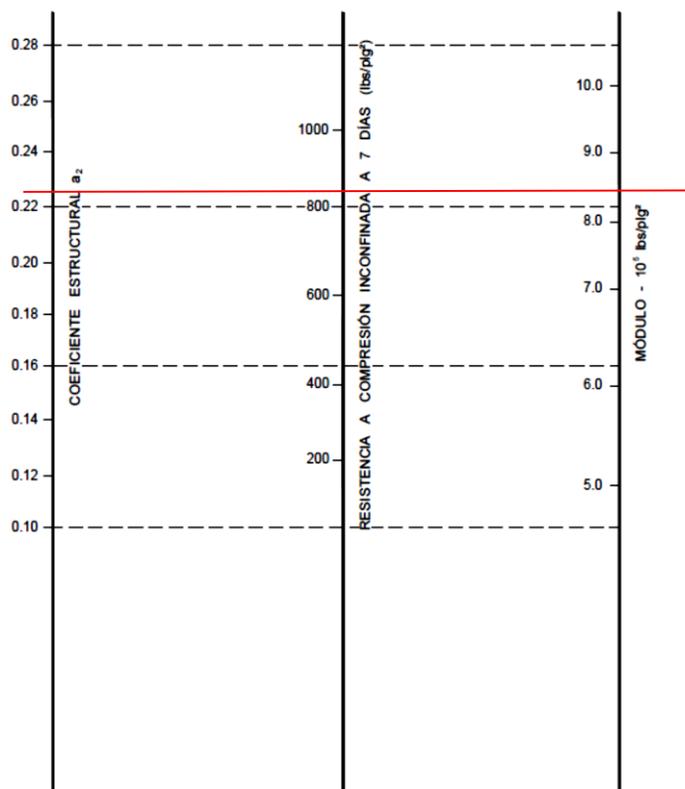


Figura 16. Cálculo de Coeficiente de Capa y Módulo Elástico para BAEC.

CLASE DE MATERIAL	NORMAS	$a_i$ ( $\text{cm}^{-1}$ )
<b>CAPA DE SUPERFICIE</b>		
Concreto Asfáltico	Estabilidad de Marshal 1000 – 1800lbs	0.134 - 0.173
Arena Asfáltica	Estabilidad de Marshal 500 – 800lbs	0.079 - 0.118
Carpeta Bituminosa mezclada en el camino	Estabilidad de Marshal 300 – 600lbs	0.059 - 0.098
<b>CAPA DE BASE</b>		
Agregados triturados, graduados uniformemente	PI: 0 – 4 CBR > 100%	0.047 - 0.055
Grava graduada uniformemente	PI: 0 – 4 CBR 30 – 80%	0.028 - 0.051
Concreto Asfáltico	Estabilidad de Marshal 1000 – 1600lbs	0.098 - 0.138
Arena Asfáltica	Estabilidad de Marshal 500 – 800lbs	0.059 - 0.098
Agregado grueso estabilizado con cemento	Resistencia a la compr. 28 - 46 $\text{Kg/cm}^2$	0.079 - 0.138
Agregado grueso estabilizado con cal	Resistencia a la compr. 7 $\text{Kg/cm}^2$	0.039 - 0.118
Suelo – cemento	Resistencia a la compr. 18 - 32 $\text{Kg/cm}^2$	0.047 - 0.079
<b>CAPA DE SUB – BASE</b>		
Arena – Grava graduado uniformemente	PI: 0 – 6 CBR > 30%	0.035 - 0.043
Suelo – Cemento	Resistencia a la compr. 18 - 32 $\text{Kg/cm}^2$	0.059 - 0.071
Suelo – Cal	Resistencia a la compr. 5 $\text{Kg/cm}^2$	0.059 - 0.071
<b>MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE</b>		
Arena o suelo seleccionado	PI: 0 – 10	0.020 - 0.035
Suelo con cal	3% mínimo de cal en peso de los suelos	0.028 - 0.039
<b>TRATAMIENTOSUPERFICIAL BITUMINOSO</b>		
Triple riego	* = Usar estos valores para los diferentes tipos de tratamientos bituminosos, sin calcular espesores	* 0.40
Doble riego		* 0.25
Simple riego		* 0.15

Figura 17. Cálculo de Coeficiente de Capa y Módulo Elástico para BAEC.

A continuación se detalla los nuevos valores obtenidos para la BAEC, los cuales se utilizarán para el nuevo diseño de pavimento.

- BAEC

$$a_2 = 0.34$$

$$E_2 = 58355 \text{ Kg/cm}^2$$

### **3.5 Diseño de Pavimento con Base Estabilizada con Cemento.**

Para el análisis del pavimento se usara el Pavimento Flexible, el cual presenta criterios, normas y parámetros utilizados siguiendo el método de la AASHTO-1993, el cual está en vigencia en el Ministerio de Transporte y Obras Públicas y es el más apto para el diseño ya que toma en cuenta casi todos los factores que inciden en la estabilidad y en su durabilidad, tales como: el comportamiento del pavimento, el tráfico, las características de la Subrasante, las características físico – mecánicas de los materiales de construcción, el medioambiente, el drenaje y el grado de confiabilidad para que el pavimento a diseñarse cumpla con todas las expectativas previstas.

Para el nuevo diseño de pavimento se reemplazara la capa de base granular la cual está estipulada en el diseño original, por una capa de base estabilizada con cemento. Este reemplazo se lo realiza con propósito de mejorar su aporte estructural y por ende la reducción del sistema multicapas del diseño de pavimento original.

Los datos para el diseño del nuevo pavimento serán los mismos adoptados para el diseño de pavimento original y para la base se utilizará los obtenidos para BAEC.

W18=	ESAL's	=	7 268,434
R%=	Confiabilidad del diseño	=	90
Zr=	Desviación estándar normal	=	-1.282
So=	Error estándar combinado en la predicción y, en la variación del comportamiento esperado del pavimento	=	0.45
$\Delta$ PSI=	Variación del índice de Serviciabilidad ( Po - Pt)	=	1.5

Modulo de Subrasante	=	2446	PSI =	172	(Kg/cm2)
Modulo de Mejoramiento	=	13199	PSI =	928	(Kg/cm2)
Mod. Base Estabilizada	=	830000	PSI =	58355	(Kg/cm2)
Modulo horm. Asfáltico	=	426700	PSI =	30000	(Kg/cm2)

Coefficiente de capa	"a4"	=	0.09
Coefficiente de capa	"a3"	=	0,11
Coefficiente de capa	"a2"	=	0,34
Coefficiente de capa	"a1"	=	0,42
Coefficiente de drenaje	"m4"	=	0.80
Coefficiente de drenaje	"m3"	=	1,00
Coefficiente de drenaje	"m2"	=	1,00

### 3.5.1 Cálculo del nuevo diseño de pavimento.

Para convertir el SN a espesores de capa, se utilizan los coeficientes estructurales que representan los aportes de las distintas capas de la estructura del pavimento.

En este caso se hará uso de una hoja electrónica de Excel para realizar el cálculo de los números estructurales de capa y a su vez los espesores que conformaran la nueva estructura de pavimento. A continuación se presenta los valores obtenidos.

## DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE METODO AASHTO 1993

VIA: PASO LATERAL DE JARAMIJÓ

TRAMO: 0+000 - 3+160

**DATOS :**

EJES ACUMULADOS 8,2 ton :	7268434	NO. AÑOS :	10		
CONFIABILIDAD (%) :	90				
DESVIACION ESTANDAR :	-1,2820				
ERROR ESTANDAR COMBINADO :	0,45				
MODULO SUBRASANTE (kg/cm <sup>2</sup> ) :	170				
MODULO DE MEJORAMIENTO (kg/cm <sup>2</sup> ) :	928	a 3 :	0,090	m 3 :	0,80
MOD. BASE ESTABILIZADA (kg/cm <sup>2</sup> ) :	58.355	a 2 :	0,340	m 2 :	1,00
MODULO HOR. ASFALTICO (kg/cm <sup>2</sup> ) :	30.000	a 1 :	0,430	m 1 :	x
PERDIDA TOTAL DE PSI :	1,50				

**AJUSTE DEL SN3 :**

NUMERO ESTRUCT. REQUERIDO :	7,00
LOG (EJES ACUMULADOS) :	6,86
EQUACION DE COMPROBACION :	6,86

**AJUSTE DEL SN2 :**

NUMERO ESTRUCT. REQUERIDO :	3,99
LOG (EJES ACUMULADOS) :	6,86
EQUACION DE COMPROBACION :	6,86

**AJUSTE DEL SN1 :**

NUMERO ESTRUCT. REQUERIDO :	0,63
LOG (EJES ACUMULADOS) :	6,86
EQUACION DE COMPROBACION :	6,86

**SIMBOLOGIA:**

ai : Coeficiente estructural de capa.  
mi : Factor de drenaje.  
Di : Espesor de la capa (cm).

**DETERMINACION DE ESPESORES PARA LA REHABILITACION:**

CAPA ASFALTICA :	D1* :	REAL,cm :	3,7	AJUST,cm :	10	ESPESOR MINIMO cm	10
	SN1* :	1,69					
BASE ESTABILIZADA :	D2* :	REAL,cm :	17,2	AJUST,cm :	25	ESPESOR MINIMO cm	15
	SN2* :	3,35					
MEJORAMIENTO	D3* :	REAL,cm :	69,2	AJUST,cm :	70		
		1,98					

Figura 18. Cálculo de la nueva Estructura de Pavimento.

Con los datos obtenidos del cálculo la nueva estructura de pavimento quedará de la siguiente manera.



*Figura 19.* Nueva Estructura de Pavimento.

## Capítulo IV

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 4.1 Conclusiones

- El contenido de cemento que se puede utilizar para alcanzar los 4Mpa en los materiales utilizados es de 4 % con respecto a la densidad húmeda de la mezcla, ya que si se coloca un mayor porcentaje correremos el riesgo que nuestra base se vuelva rígida.
- Con esta nueva tecnología se puede construir capas de bases de alta capacidad estructural, pero además muy competitivas en cuanto a durabilidad y estabilidad volumétrica a largo plazo.
- El espesor propuesto de la base estabilizada con cemento para soportar las solicitudes de tráfico es de 25cm.

## 4.2 Recomendaciones

- El uso de una adecuada técnica constructiva y la combinación óptima de agua, cemento y la energía de compactación son fundamentales para lograr bases de alta calidad y excelente desempeño, minimizando de esta forma el agrietamiento por construcción de fraguado.
- Tener cuidado en el momento de dosificación del cemento y más que nada en el tiempo de tendido el cual bajo ningún concepto debe ser mayor de 2 horas entre humidificación y compactación final.
- Continuar investigaciones de suelo-cemento con diferentes agregados y cementos con diferentes adiciones puzolánicas

## Anexo 1

<b>UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL</b>					
<b>FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS</b>					
<b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>					
<b>Laboratorio "Ing. Dr. Arnaldo Ruffilli"</b>					
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO</b>					
<b>Proyecto:</b> Base Estabilizada con Cemento			<b>Abscisa :</b> Cantera		
<b>Localizacion:</b> Provincia de Manabí			<b>Profundidad :</b>		
<b>Fecha:</b> Noviembre 2015			<b>Muestra :</b> 1		
<b>Descripcion del Material :</b>			<b>Para :</b> Base		
Tamiz	Peso Parcial	%Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasante Acumulado	Especificaciones
3	0	0	0	100	
2"	0	0	0	100	100
1 1/2"	0	0	0	100	70 - 100
1"	795,4	17,36	17,36	82,64	55 - 85
3/4"	600,1	13,10	30,45	69,55	50 - 80
1/2"					
3/8"	835,6	18,23	48,69	51,31	35 - 60
1/4"					
No.4	745,9	16,28	64,97	35,03	25 - 50
No.8					
No.10	629	13,73	78,69	21,31	20 - 40
No.16					
No.20					
No.30					
No.40	502,3	10,96	89,65	10,35	10 - 25
No.50					
No.80					
No.100					
No.200	304,6	6,65	96,30	3,70	2 - 12
FONDO	169,5	3,70	100,00	0,00	
<b>TOTAL</b>	<b>4582,4</b>	<b>100,00 %</b>			
<b>Clasificacion AASHTO:</b> _____					
<b>Observaciones :</b> _____ _____					
<b>Operado por:</b> <u>Laboratorista</u>			<b>Verificado por:</b>		
<b>Calculado por:</b> Wilmer Guaño			_____ <b>DIRECTOR DE TESIS</b>		

## Anexo 2

<b>UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b> <b>Laboratorio "Ing. Dr. Arnaldo Ruffilli"</b>												
<b>PRUEBA PROCTOR</b>												
Proyecto: Base Estabilizada con Cemento						Localización: Provincia de Manabí						
Volumen del cilindro:		0,00212300 m <sup>3</sup>				Uso: Base Clase 1						
Peso del cilindro:		6,52 Kg				Número de capas: 5						
Número de golpes por capa:		56				Fecha:						
<b>COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA</b>												
Contenido de cemento por peso de suelo:		2%										
Peso del suelo seco:		5500 gr										
Peso de cemento:		110 gr										
Cantidad de agua cm <sup>3</sup>	Recipiente N°	Peso de tierra húmeda + receipt. grs	Peso de tierra seca . + receipt grs	Peso del receipt grs	Peso del agua grs	Peso seco grs	W (%)	Peso de tierra húmeda + cilindro Kg	Peso de tierra húmeda Kg	1+W/100	Peso de tierra seca Kg	Densidad seca Kg/m <sup>3</sup>
EN	9	412,00	402,20	29,90	9,80	372,3	2,63	11,05	4,53	1,03	4,42	2080,88
168,30	16	388,50	377,90	29,70	10,60	348,2	3,04	11,08	4,56	1,03	4,43	2084,45
336,60	N°	406,00	384,90	31,70	21,10	353,2	5,97	11,40	4,88	1,06	4,60	2166,97
504,90	I	398,20	368,80	29,10	29,40	339,7	8,65	11,61	5,09	1,09	4,69	2207,45
673,20	7	445,80	405,20	30,50	40,60	374,7	10,84	11,52	5,00	1,11	4,51	2126,62
<b>CURVA DE COMPACTACIÓN</b>												
								Contenido natural de humedad: <b>2,63%</b>				
								Contenido óptimo de humedad: <b>8,40%</b>				
								Densidad seca máxima: <b>2209,00 Kg/m<sup>3</sup></b>				
Muestra N°	Prof.	CLASIFICACIÓN						G <sub>s</sub>	W <sub>i</sub>	W <sub>o</sub>	L <sub>p</sub>	% > N°4
Operado por: <u>Laboratorista</u>												Verificado por:
Calculado por: Wilmer Guaño												TUTOR DE TESIS

**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**  
**FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**Laboratorio "Ing. Dr. Arnaldo Ruffilli"**

**PRUEBA PROCTOR**

Proyecto: Base Estabilizada con Cemento		Localización: Provincia de Manabí
Volumen del cilindro:	0,00212300 m <sup>3</sup>	Uso: Base Clase 1
Peso del cilindro:	6,52 Kg	Número de capas: 5
Número de golpes por capa:	56	Fecha:

**COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA**

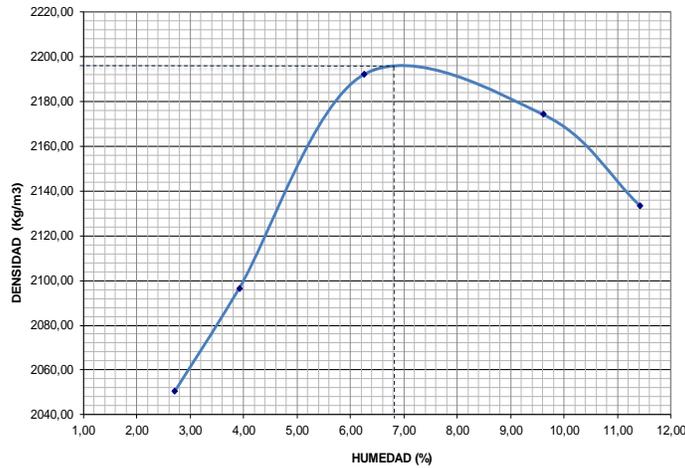
Contenido de cemento por peso de suelo: 4%

Peso del suelo seco: 5500 gr

Peso de cemento: 220 gr

Cantidad de agua cm <sup>3</sup>	Recipiente N°	Peso de tierra húmeda + recipient. grs	Peso de tierra seca + recipient. grs	Peso del recipient grs	Peso del agua grs	Peso seco grs	W (%)	Peso de tierra húmeda + cilindro Kg	Peso de tierra húmeda Kg	1+W/100	Peso de tierra seca Ws Kg	Densidad seca Kg/m <sup>3</sup>
EN	47	446,00	435,00	29,90	11,00	405,1	2,72	10,99	4,47	1,03	4,35	2050,31
171,60	I'	442,00	426,50	31,10	15,50	395,4	3,92	11,15	4,63	1,04	4,45	2096,34
343,20	10	421,00	398,00	29,90	23,00	368,1	6,25	11,46	4,94	1,06	4,65	2191,87
514,80	AB	452,00	415,00	30,10	37,00	384,9	9,61	11,58	5,06	1,10	4,62	2173,97
686,40	14	499,00	451,00	30,60	48,00	420,4	11,42	11,57	5,05	1,11	4,53	2133,26

**CURVA DE COMPACTACIÓN**



Contenido natural de humedad:  
**2,72%**

Contenido óptimo de humedad:  
**6,80%**

Densidad seca máxima:  
**2196,00 Kg/m<sup>3</sup>**

Muestra N°	Prof.	CLASIFICACIÓN	G <sub>s</sub>	W <sub>i</sub>	W <sub>o</sub>	I <sub>p</sub>	% > N°4

Operado por: Laboratorista

Verificado por:

Calculado por: Wilmer Guano

\_\_\_\_\_ TUTOR DE TESIS

**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**  
**FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**Laboratorio "Ing. Dr. Arnaldo Ruffilli"**

**PRUEBA PROCTOR**

Proyecto: Base Estabilizada con Cemento		Localización: Provincia de Manabí
Volumen del cilindro:	0,00212300 m <sup>3</sup>	Uso: Base Clase 1
Peso del cilindro:	6,52 Kg	Número de capas: 5
Número de golpes por capa:	56	Fecha:

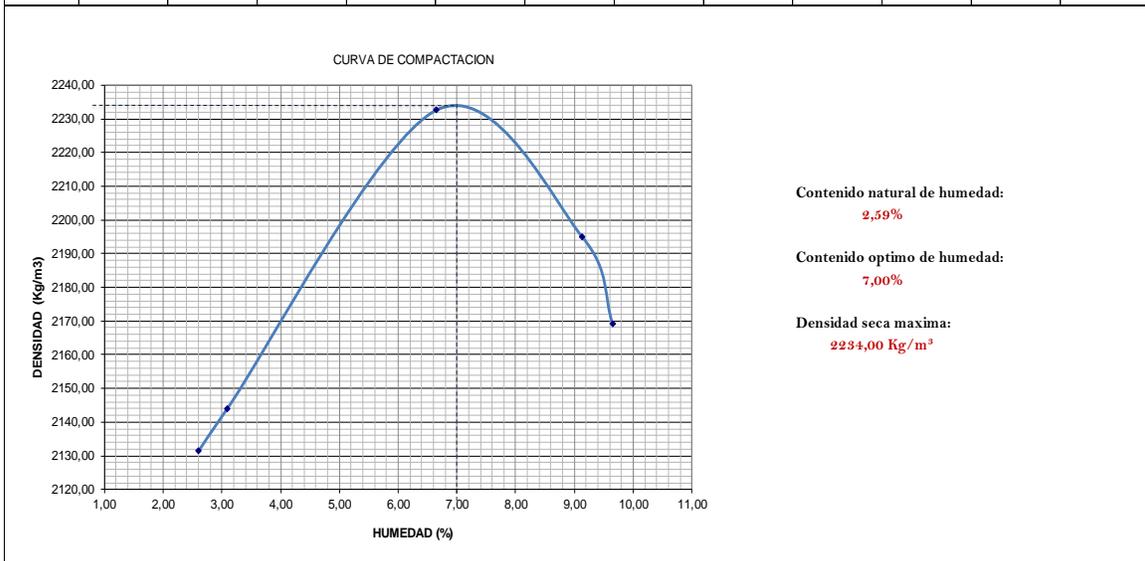
**COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA**

Contenido de cemento por peso de suelo: 6%

Peso del suelo seco: 5500 gr

Peso de cemento: 330 gr

Cantidad de agua cm <sup>3</sup>	Recipiente N°	Peso de tierra húmeda + recept. grs	Peso de tierra seca . + recept grs	Peso del recept grs	Peso del agua grs	Peso seco grs	W (%)	Peso de tierra húmeda + cilindro Kg	Peso de tierra húmeda Kg	1+W/100	Peso de tierra seca Ws Kg	Densidad seca Kg/m <sup>3</sup>
EN	16	492,40	480,70	29,70	11,70	451,0	2,59	11,16	4,64	1,03	4,52	2131,24
174,60	I	466,70	453,60	29,10	13,10	424,5	3,09	11,21	4,69	1,03	4,55	2143,92
349,80	N	479,90	451,90	31,20	28,00	420,7	6,66	11,58	5,06	1,07	4,74	2232,66
524,70	7	463,00	426,80	30,50	36,20	396,3	9,13	11,61	5,09	1,09	4,66	2194,72
699,60	Q	449,70	412,80	30,30	36,90	382,5	9,65	11,57	5,05	1,10	4,60	2168,99



Muestra N°	Prof.	CLASIFICACION	G <sub>s</sub>	W <sub>i</sub>	W <sub>o</sub>	I <sub>p</sub>	% > N°4
Única							

Operado por: Laboratorista

Verificado por:

Calculado por: Wilmer Guaño

\_\_\_\_\_ DIRECTOR DE TESIS

## Bibliografía

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (s.f.). *AASHTO guide for desing of pavement structures-1993*.

American Concrete Institute (ACI). (s.f.). *El Estado del Arte del Suelo Cemento, Comité ACI 230-1R*.

Centro Técnico del Hormigón, Serie Monografías n. 016. (2003). *Bases de Suelo-Cemento, Bases de Agregados Estabilizados con Cemento*. Guayaquil.

Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos y Puentes (MOP-001-F-2000). (s.f.). *Sección 404*.

Ing. Terreros de Varela, C., & Ing. Moreno Lituma, V. (1995). *Mecánica de Suelos (Laboratorio)*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

Instituto Colombiano de Productores de Cemento. (1983). *Dosificación de mezclas de suelo-cemento*. Medellín.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (1995). *Suelo-Cemento, sus usos, propiedades y aplicaciones*. México.

Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto. (2007). *Revista del ISCYC No. 43*.

Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto. (2007). *Revista del ISCYC No. 44*.



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia y Tecnología  
Innovación y saberes



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO	ESTUDIO COMPARATIVO DE DISEÑO ENTRE PAVIMENTO FLEXIBLE CONVENCIONAL Y PAVIMENTO FLEXIBLE CON BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO DE LA VÍA PASO LATERAL DE JARAMIJÓ PROVINCIA DE MANABÍ.		
AUTOR/ES: WILMER ANÍBAL GUAÑO LLUMIQUINGA	REVISORES: ING. CARLOS VEINTIMILLA SILVA MSC. ING. ANÍBAL TRUJILLO NARANJO MSC. ARQ. JOHNNY AMPUERO FRANCO MSC.		
INSTITUCIÓN: Universidad de Guayaquil	FACULTAD: De Ciencias Matemáticas y Físicas		
CARRERA: Ingeniería Civil			
FECHA DE PUBLICACIÓN	2015-2016	Nº DE PÁGS: 70	
ÁREAS TEMÁTICAS: GENERALES DE INGENIERÍA			
ESTUDIO COMPARATIVO DOS PAVIMENTOS FLEXIBLES CONVENCIONAL - BASE ESTABILIZADA			
PALABRAS CLAVE: <ESTUDIO - DISEÑO - PAVIMENTOS FLEXIBLES - BASE ESTABILIZADA> <PASO LATERAL - JARAMIJÓ - PROVINCIA DE MANABÍ>			
RESUMEN: El siguiente trabajo trata del "Estudio Comparativo de un Diseño de Pavimento Flexible Convencional y Pavimento Flexible con Base Estabilizada con Cemento", ya que debido a su mayor densificación y mejor comportamiento mecánico, ofrece mayores resistencias, constituyéndose en una alternativa para la construcción de pavimentos flexibles muy similares a aquellos construidos con un diseño de pavimento flexible convencional; ya que la base de agregados es estabilizada con cemento nos permite disminuir espesores de agregados para la construcción de las capas en los pavimentos, debido a su mayor rigidez; también nos permite hacer uso de la mayoría de agregados presentes en la naturaleza. La aplicación de esta alternativa a ayudaría principalmente a la reducción de la explotación de las canteras de nuestro país ya que de ser explotados excesivamente provocaría su escasez. El uso extensivo de materiales granulares en la construcción de pavimentos flexibles, demanda la explotación de las canteras del país, lo que provocaría la escasez de este recurso natural a un corto o mediano plazo, esto conllevaría al aumento progresivo de su costo. Para lo cual se debe buscar alternativas factibles para reducir su uso. Una de estas alternativas es la utilización de bases estabilizadas con cemento, la cual no es utilizada con regularidad en nuestro país por la falta de conocimiento, experiencia, desconfianza y estudios realizados referentes al tema. Por lo cual los especialistas en pavimentos flexibles optan por el diseño convencional que demanda grandes espesores de base granular en vías de tráfico pesado y condiciones de suelos desfavorables. La utilización de esta alternativa permitiría el reciclaje de material de un pavimento flexible existente, poseería una alta resistencia para soportar grandes cargas y bajo las mismas condiciones de carga y			
N. DE REGISTRO (en base de datos):		Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			
ADJUNTOS PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTOS CON AUTOR/ES: CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Teléfono: 0988525183 Nombre: FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS Teléfono: 2-283348	E-mail: wilmerg_civil@hotmail.com	
	Quito: Av. Whymper E7-37 y Alpallana, edificio Delfos, teléfonos (593-2) 2505660/ 1: y en la		
	Av. 9 de octubre 624 y Carrión, edificio Prometeo, teléfonos: 2569898/9, Fax: (593 2) 250-9054		