



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

“DISEÑO DE UN PAVIMENTO UTILIZANDO GEOMALLAS EN TRAMO DE LA CARRETERA BAJADA DE CHANDUY – AGUAS VERDES – POCITO (ABSC. 2+900 HASTA ABSC. 3+600)”

TESINA DE SEMINARIO

Previa a la obtención del Título de

INGENIERO CIVIL

Presentada por

ANDRÉS RENATO TAPIA DIEZ

FABRICIO EDUARDO BARONA FAJARDO

LUIS ROLANDO INGA MORÁN

Guayaquil – Ecuador

AÑO

2009

AGRADECIMIENTO

Agradecidos y emocionados nos sentimos, principalmente con Dios, que bondadosamente nos permitió llegar a la cúspide de nuestra carrera profesional.

A nuestros apreciados docentes, de manera especial al Ing. Eduardo Santos Baquerizo y Manuel Gómez de la Torre, quienes con sus conocimientos, sabiamente supieron llegar hasta nosotros.

¡Gracias a ellos por su paciencia y dedicación!

DEDICATORIA

A mi padre, a mi madre, a mi abuela Nena, a mi tíos Antonio y Rosi y de una manera especial a mi abuelo Alcibíades, quienes con sus sabios consejos han coadyuvado a mi realización personal y académica.

Les debo todo y gracias a ellos soy quien soy hoy en día.

ANDRÉS TAPIA DIEZ

A mis padres, Federico y Zoila, que han estado siempre conmigo. A mi familia y amigos, y a todos los que han hecho posible la consecución de esta meta y mi formación como persona.

FABRICIO BARONA FAJARDO

A mi madre Mercedes, mis hermanas y todos los que han confiado en mi permitiendo llegar alcanzar mis metas y seguir mis sueños.

LUIS INGA MORÁN

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Eduardo Santos Baquerizo

DIRECTOR DE TESINA

Ing. Manuel Gómez De la Torre

PROFESOR DE SEMINARIO

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de esta
Tesina de Seminario nos corresponde
exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la
misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Andrés Tapia Diez

Fabrizio Barona Fajardo

Luis Inga Morán

RESUMEN

La vía Bajada de Chanduy - Pocito – Agua Verdes se ubica al noroeste de la provincia del Guayas cerca de Cerecita, dicho proyecto permitirá a sus beneficiarios conectarse a la red vial que conecta la Provincia de Santa Elena y del Guayas , los mismos que en época invernal quedan aisladas del resto de poblaciones, lo cual se convierte en un problema para el desarrollo agronómico del sector como son otros recintos de las provincias antes mencionadas.

El desarrollo de la siguiente tesina se sustenta en el uso de geomallas para mejorar la resistencia de la vía específicamente desde la altura de la abscisa 2+900 hasta 3+600, mostrando las ventajas de usar este procedimiento con el nombrado geosintético. Para ello se hace necesario un análisis de el tipo de material que este al alcance de vía (terraplén, base y subbase) y del geosintético a usarse, cuyas propiedades físico-mecánicas deben satisfacer necesidades de resistencia de la vía.

El presente estudio comprende :

- Aspectos generales de los geosintéticos existentes en el mercado, aplicaciones en la Ingeniería Civil, también de las geomallas con algunas de sus propiedades y especificaciones.
- Descripción general de los componentes estructurales del pavimento y la metodología paso a paso para obtener un diseño de espesores mediante el procedimiento AASHTO y su aplicación correspondiente a la carretera motivo de nuestro trabajo.
- Detallamiento del refuerzo de vías mediante geomallas biaxiales, para lo que se dará a conocer la forma de uso y beneficios en la resistencia de confinamiento que se pueden obtener. Asimismo se expondrán los resultados de la aplicación de este método en la carretera que estamos tratando.
- Por último se presentará un análisis comparativo de costos para cada uno de las metodologías de diseño empleadas en este trabajo mostrando las bondades de utilizar las geomallas biaxiales como refuerzo en subrasantes.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

Introducción	1
Objetivos	2
Campo de acción	2
Problemas a resolver	2

Capítulo 1: Geosintéticos

1.1 Aspectos Generales	3
1.2 Clasificación de los Geosintéticos	3
1.2.1 Geotextiles	4
1.2.2 Geomallas	4
1.2.3 Geocompuestos	5
1.2.4 Geomembranas	6
1.2.5 Geoceldas	6
1.3 Introducción a las Geomallas	7
1.3.1 Clasificación	9
1.3.2 Proceso de Fabricación	11
1.3.3 Funciones y Aplicaciones	12

1.4 Normas de ensayos y especificaciones técnicas de elaboración de las Geomallas_____	15
--	----

Capítulo 2: Diseño de una carretera por el método AASHTO

2.1 Componentes Estructurales de un Pavimento_____	18
2.1.1 Subrasante_____	18
2.1.2 Sub-Base_____	18
2.1.3 Base_____	20
2.1.4 Capa De Rodadura_____	22
2.2 Método AASHTO Para Pavimentos Flexibles_____	23
2.2.1 Desviación Normal del Error Estándar S_o , combinado en la estimación de los parámetros de diseño y el comportamiento del pavimento (Modelo de Deterioro)_____	25
2.2.2 Número estructural indicativo del espesor total requerido de pavimento (S_n)_____	25
2.2.3 Coeficientes Estructurales_____	26
2.2.4 Coeficientes de Drenaje (M_i)_____	29
2.2.5 Diferencia entre Índice de Servicialidad Inicial, P_o e Índice de Servicialidad Terminal de Diseño, P_t (Δpsi)__	30
2.2.6 Módulo de Resiliencia, en psi, del material de sub-rasante (M_r)_____	32

2.2.7 Cantidad pronosticada de repeticiones del eje de carga equivalente de 18 Kips (8,16 T = 80 Kn) para el periodo analizado. (ESAL = W18 = Equivalent Single Axle Load)	33
2.2.8 Procedimiento de diseño	36
2.3 Diseño de pavimento flexible de la carretera Bajada de Chanduy – Aguas Verdes – Pocito (Absc. 2+900 hasta Absc. 3+600) por Método AASHTO	41

Capítulo 3: Refuerzo En Vías Con Geomallas Biaxiales

3.1 Generalidades	46
3.2 Introducción	47
3.3 Mecanismos De Refuerzos generados por las Geomallas	48
3.3.1 Confinamiento lateral de la base o la subbase	48
3.3.2 Mejoramiento de la Capacidad Portante	49
3.3.3 Membrana Tensionada	49
3.4 Ensayo a escala real de una estructura reforzada con Geomalla Biaxial Coextruída	52
3.5 Método AASHTO para el diseño de pavimentos flexibles reforzados con Geomallas Coextruídas	57

3.6 Diseño de pavimento flexible de la carretera Bajada de Chanduy – Aguas Verdes – Pocito (Absc. 2+900 hasta Absc. 3+600) utilizando Geomallas_____	60
--	----

Capítulo 4: Análisis Comparativo de costos de ambos diseños

4.1 Costo de pavimento flexible sin Geomalla_____	65
4.2 Costo de pavimento utilizando Geomalla_____	67
4.3 Comparación de ambos costos_____	69

Conclusiones_____

Recomendaciones_____

INTRODUCCIÓN

En muchas ocasiones los geosintéticos han sido una solución exitosa pero en algunos casos la falta de conocimiento y de una metodología de diseño que permita definir los requerimientos de estos materiales de acuerdo con las condiciones particulares de cada proyecto, no ha permitido que los beneficios de esta tecnología sean aprovechados en su total magnitud. La aplicación eficaz de geosintéticos, promueve sus capacidades y formula diseños preliminares que permitan definir requerimientos técnicos de acuerdo a cada tipo de obra. Como resultado de este proceso, se presenta a la Ingeniería metodologías de diseño para separación y estabilización de vías, refuerzo en vías con geotextiles y geomallas, pavimentación y repavimentación, sistemas de subdrenaje, refuerzo en muros de contención, refuerzo de taludes, refuerzo de terraplenes sobre suelos blandos, etc.

En nuestro trabajo hemos pretendido demostrar de una forma técnica, qué tanto podemos optimizar recursos a la hora de construir una carretera, en este caso con el uso de geomallas. El objetivo es que esta nueva forma de diseñar y construir haga que las carreteras puedan llegar a lugares que por el costo no han podido acceder a las mismas. Es aquí donde la herramienta de ingeniería también se vuelve herramienta social y de desarrollo, lo cual será siempre el objetivo de cualquier empresa humana.

Este trabajo se centra en la descripción de cada uno de los procesos de diseño, el AASHTO (el tradicional) y la metodología usando GEOMALLAS, procedimiento estudiado por años que ha sido tecnificado y normalizado para su utilización incluso en suelos y condiciones climáticas tan difíciles como los de Ecuador. Al final se expondrá una comparación referencial en la que se demostrarán las bondades de la utilización de geomallas y así incentivar el uso de las mismas por la comunidad de ingenieros.

OBJETIVOS

Presentar la metodología para diseñar un pavimento flexible utilizando geomallas y demostrar sus ventajas económicas y de optimización de recursos frente al diseño tradicional por el método AASHTO.

CAMPO DE ACCIÓN

En nuestro trabajo abarcaremos generalidades de los geosintéticos, precisando un poco más en las características de las geomallas. Expondremos procedimientos de diseño para pavimentos flexibles tanto para el método tradicional (AASHTO) como para el diseño utilizando geomallas. Ambos diseños serán aplicados a un tramo de la carretera Bajada de Chanduy – Pocito – Aguas Verdes entre las abscisas 2+900 y 3+600.

Al final del trabajo ilustraremos los resultados de los espesores de las capas del pavimento para ambos diseños y complementaremos con una comparación en cuanto a costos de materiales.

PROBLEMA A RESOLVER

Con el diseño de pavimentos flexibles utilizando geomallas se pretende solucionar las complicaciones que resultan de construir carreteras sobre subrasantes de mala calidad y los problemas que acarrea no tener a disposición material desde canteras lejanas proponiendo diseños con espesores menores que brinden igual capacidad estructural e incluso económicamente más factible lo que posibilita el empleo de estas vías de comunicación en donde el factor económico es limitado y la necesidad urgente.

CAPÍTULO 1

GEOSINTÉTICOS

1.1 ASPECTOS GENERALES

Geosintético es un producto en el que, por lo menos, uno de sus componentes es a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de filtro, manto, lámina o estructura tridimensional, usada en contacto con el suelo o con otros materiales dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil.

Existen varios campos de aplicación de los geosintéticos en el mundo de la construcción y la edificación como son: obras viales, obras hidráulicas, sistemas de control de erosión, aplicaciones medioambientales, entre otras. La fabricación de los geosintéticos comprende procedimientos principalmente de extrusión, tecnología textil y/o ambas tecnologías: Textil y plástica.

Los geosintéticos se derivan de fibras artificiales, compuestos básicamente de polímeros como polipropileno, poliéster, poliamida y polietileno, siendo los 2 primeros los de mayor utilización en la actualidad.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS

Los tipos de geosintéticos más comunes utilizados en el campo de la ingeniería son los geotextiles, las geomallas, las geomembranas, las georedes y otros geocompuestos derivados de la unión de las características y cualidades de cada uno de los anteriores.

1.2.1 GEOTEXTILES

Son materiales flexibles y permeables a los fluidos fabricados de fibras sintéticas como el poliéster o polipropileno. Sus características los hacen capaces de retener partículas de suelo mayores que el tamaño de sus poros.



Figura 1.1 Geotextil

1.2.2 GEOMALLAS

Son estructuras tridimensionales pero con la característica de ser mono o bi-orientadas. Están fabricadas en polietileno de alta densidad, utilizando un proceso de extrusión. Tienen una mayor adherencia al terreno y una mayor durabilidad en el medio que los geotextiles. Dado a que las geomallas es una parte esencial de este trabajo, le daremos mayor amplitud a sus propiedades en capítulos posteriores.

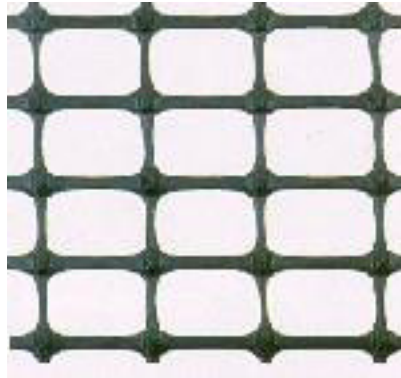


Figura 1.2 Geomalla

1.2.3 GEOCOMPUESTOS

Diseñado específicamente para estabilización de suelos donde se requiere tanto refuerzo como separación de una base granular y un subsuelo muy fino. Uniendo un geotextil no tejido a una geomalla, lo que permite una gran interacción con el suelo reforzado, completa separación de los diferentes tipos de suelo, una efectiva acción de filtración, gran resistencia a la tensión como un alto módulo elástico, gran resistencia a los daños durante la instalación y un excelente comportamiento a los agentes atmosféricos.

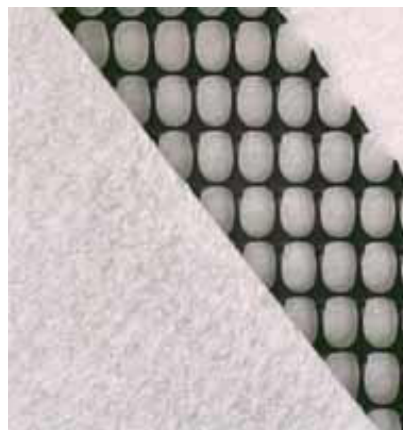


Figura 1.3 Geocompuesto

1.2.4 GEOMEMBRANAS

Son láminas poliméricas impermeables fabricados en cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta o baja densidad (PEAD/PEBD). Son recubrimientos sintéticos impermeables a fluidos y partículas cuya función es la de revestir canales, lagunas, depósitos de agua, además controlan la erosión.

Se instalan en depósitos de hormigón o acero de cualquier dimensión para confinamiento de químicos, residuos sólidos o químicos e industriales y prolongar la duración de los tanques.



Figura 1.4 Geomembrana

1.2.5 GEOCELDAS

Son sistemas tridimensionales de confinamiento celular fabricadas en paneles de polietileno o polipropileno. Por su alta resistencia sirven para el confinamiento de cargas.

Se utilizan también para aumentar la capacidad de carga del suelo, sin generar problemas de contaminación beneficiando al entorno ecológico.



Figura 1.5 Geocelda

1.3 INTRODUCCIÓN A LAS GEOMALLAS

Existen diversos métodos para aumentar la capacidad de carga de suelos blandos. Uno de estos, antiguo y todavía efectivo, consiste en reforzar el suelo mediante confinamiento lateral de las partículas de material y aumentar su resistencia a la tensión. Tradicionalmente estos efectos se obtenían usando ramas trenzadas o colocando troncos de forma perpendicular.

La tecnología actual, permite el uso de productos sintéticos diseñados específicamente para obtener el mismo efecto de confinamiento lateral y resistencia a la tensión, como pueden ser las geomallas bi-orientadas coextruídas.

Las geomallas coextruídas son estructuras bidimensionales elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de costillas conectadas de forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente

tamaño para permitir la trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante.

La principal función de las geomallas coextruídas es indiscutiblemente el refuerzo; el uso del tipo de geomalla esta ligado a la dirección en que los esfuerzos se transmiten en la estructura, por ejemplo, en aplicaciones tales como muros en suelo reforzado o en terraplenes, se utilizan las geomallas mono-orientadas que son geomallas con una resistencia y rigidez mayor en el sentido longitudinal que en el transversal.

Mientras, que en estructuras en que la disipación de los esfuerzos se realiza de forma aleatoria y en todas las direcciones, como por ejemplo estructuras de pavimento o cimentaciones superficiales, se utilizan geomallas bi-orientadas o bi-direccionales las cuales no tienen una diferencia considerable frente a sus propiedades en los dos sentidos de la grilla.

Las geomallas coextruídas generan un incremento en la resistencia al corte del suelo. Durante la aplicación de una carga normal al suelo, este es compactado de manera que se produzca una interacción entre las capas de suelo que rodean la geomalla. Con estas condiciones, se requerirá una carga considerablemente mayor para producir un movimiento en el suelo. El compuesto suelo-geomalla reduce la resistencia al movimiento, por lo tanto,

el uso de las geomallas produce una condición de cohesión, inclusive en materiales granulares. El compuesto combina la resistencia a la compresión del suelo con la tensión de la geomalla, para crear un sistema que presenta una mayor rigidez y estabilidad que un suelo sin ningún elemento que soporte estos esfuerzos. La capacidad que tiene la geomalla para distribuir las fuerzas sobre su superficie incrementan las características de resistencia contra los desplazamientos de la estructura durante el sometimiento de esta a cargas tanto estáticas como dinámicas.

1.3.1 CLASIFICACIÓN

Como se mencionó anteriormente se dividen en dos tipos, los cuales se enuncian a continuación.

a. Geomallas coextruídas Mono-Orientadas

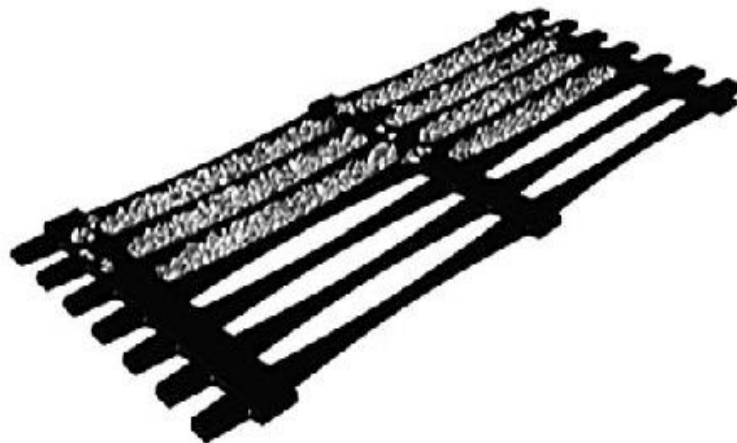


Figura 1.6 Geomalla Coextruída Mono-orientada

Las geomallas mono-orientadas, son estructuras bi-dimensionales producidas de polietileno de alta densidad (HDPE) utilizando un proceso de extrusión seguido de un estiramiento mono-direccional.

Este proceso permite obtener una estructura monolítica con una distribución uniforme de largas aberturas elípticas, desarrollando así gran fuerza a la tensión y gran módulo de tensión en la dirección longitudinal. La estructura de este tipo de geomallas provee un sistema de trabazón óptimo con el suelo especialmente de tipo granular.

Este tipo de geomallas coextruídas de HDPE, son totalmente inertes a las condiciones químicas o biológicas que se presentan normalmente en el suelo, poseen gran resistencia a los esfuerzos de tensión, soportando hasta 160KN/m aproximadamente. Esto, con la capacidad del suelo de absorber los esfuerzos de compresión, da como resultado el concepto de estructura en suelo reforzado, similar al concepto del concreto y el acero de refuerzo.

b. Geomallas Coextruídas Bi-Orientadas

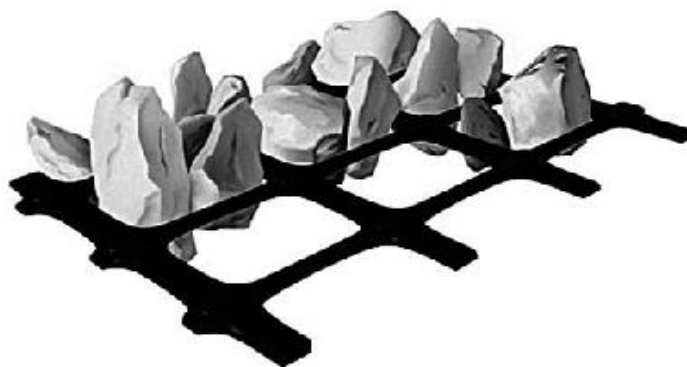


Figura 1.7 Geomalla Coextruída Bi-orientada

Este tipo de geomallas son estructuras bidimensionales fabricadas de polipropileno, químicamente inertes y con características uniformes y homogéneas, producidas mediante un proceso de extrusión y luego estiradas de forma longitudinal y transversal.

Este proceso genera una estructura de distribución uniforme de espacios rectangulares de alta resistencia a la tensión en ambas direcciones y un alto módulo de elasticidad. Así mismo, la estructura de la geomalla permite una óptima trabazón con el suelo.

Este tipo de geomallas coextruídas se componen de elementos y nudos rígidos que proveen un gran confinamiento.

Son particularmente efectivas para reforzar estructuras de pavimentos rígidos y flexibles.

1.3.2 PROCESO DE FABRICACIÓN

Para el caso de las geomallas en polietileno y polipropileno, el proceso de fabricación es el mismo. Inicialmente se tienen láminas del material en el que se realizan unas perforaciones, cuadradas o elípticas, de forma uniforme y controlada sobre toda la lámina, según el caso la lámina perforada recibe un estiramiento en una o dos direcciones, el cual se realiza a temperaturas y esfuerzos controlados para evitar la fractura del material mientras que se orientan las moléculas en el sentido de la elongación.

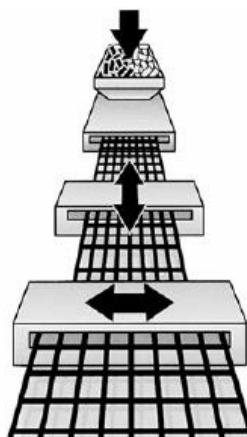


Figura 1.8 Esquema de proceso de fabricación de mallas coextruídas

En el proceso intervienen variables como el peso molecular, la distribución de este, entre otras, pero el más importante es la tasa a la que se produce el proceso de elongación.

El desarrollo que se ha tenido en la técnica de fabricación de este material, ha dado como resultado no solo el incremento en los módulos y la resistencia del material sino que a su vez ha desarrollado una relación del 100% entre el esfuerzo en los nodos y la resistencia a la tensión de las costillas, garantizando un excelente comportamiento del sistema en el tiempo.

1.3.3 FUNCIONES Y APLICACIONES

El uso de las geomallas coextruídas bi-orientadas y mono-orientadas, en diferentes campos de aplicación se define básicamente por su función de refuerzo. Esta función se realiza cuando la geomalla inicia un trabajo de resistencia a la tensión complementado con un trabazón de agregados en presencia de diferentes tipos de materiales.

Las principales aplicaciones de las geomallas coextruídas mono-orientadas se enuncian a continuación:

- Refuerzo de muros y taludes.
- Refuerzo de terraplenes con taludes pronunciados y diques.
- Estabilización de suelos blandos.
- Reparación de deslizamientos.
- Ampliación de cresta de taludes.
- Reparación de cortes en taludes.
- Estribos, muros y aletas de puentes.
- Muros vegetados o recubiertos con concreto.

Las principales aplicaciones de las geomallas coextruídas bidireccionales se enuncian a continuación:

- Terraplenes para caminos y vías férreas.
- Refuerzo en bases de caminos pavimentados y no pavimentados.
- Refuerzo en estructuras de pavimento de pistas de aterrizaje en aeropuertos.
- Refuerzo debajo del balasto de las vías de ferrocarril.
- Como sistema de contención sobre rocas fisuradas.

El principal criterio de escogencia del tipo de geomalla es básicamente estudiando como se generan y transmiten los esfuerzos a lo largo de la estructura a reforzar, por ejemplo en muros en suelo reforzado, sabemos que

los esfuerzos principales están en una sola dirección debido a la presión lateral de tierras que el suelo retenido ejerce sobre la estructura. Mientras que para refuerzo en estructuras de pavimento, los esfuerzos verticales generados por el tráfico, son disipadas en varias direcciones, por lo que el diseño de la geomalla para realizar el refuerzo debe tener las mismas propiedades mecánicas tanto en el sentido longitudinal como en el transversal.



a) Estabilidad de taludes



b) Refuerzo de Sub-rasantes



c) Refuerzo de capas de rodadura

Figura 1.9 Algunas aplicaciones de las geomallas biorientadas

1.4 NORMAS DE ENSAYOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ELABORACIÓN DE LAS GEOMALLAS

Las Geomallas Estructurales serán una estructura de malla integralmente formada, fabricada de polipropileno resistente a la tensión con peso molecular y características moleculares que generen:

- (a) Alta resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural, cuando la Geomalla se someta a tensión mecánica durante la instalación.
- (b) Alta resistencia a la deformación cuando la Geomalla se someta a esfuerzos de trabajo
- (c) Alta resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural, cuando la Geomalla se someta a condiciones medioambientales a largo plazo.

Las Geomallas Estructurales resistirán la aplicación de esfuerzos de trabajo por entramamiento mecánico positivo con:

- (a) Suelos compactados o materiales para relleno;
- (b) Secciones contiguas en traslapos y empotramientos en suelos compactados o materiales para relleno
- (c) Conectores mecánicos rígidos como bodkins, pasadores o ganchos.

Las Geomallas Estructurales tendrán rigidez flexural suficiente para lograr una instalación eficaz in-situ sobre suelos blandos o húmedos y la resistencia torsional suficiente para resistir el movimiento en el plano de suelos

compactados o materiales para relleno, cuando éstos están sujetos a desplazamientos laterales rotacionales por la aplicación de cargas. Las Geomallas Estructurales presentarán completa continuidad de todas las propiedades a lo largo de su estructura y serán convenientes para el refuerzo de suelos compactados o materiales para relleno mejorando su capacidad de carga en aplicaciones como sistemas de mejoramiento de fundaciones. Las Geomallas Estructurales tendrán adicionalmente las características enlistadas en la siguiente tabla. Dichas características se obtuvieron de los ensayos: GRI-GG2-87, ASTM D5732-95, ASTM D5818, ASTM D6637, EPA 9090 de la norma americana.

Tipo de Producto:		<i>Geomalla Estructural Integralmente Formada</i>	
Mecanismo de Transferencia de Esfuerzos:		<i>Entrabamiento Mecánico Positivo</i>	
Propiedades del Producto	Unidades	Valores min por rollo. MD	Valores mín. por rollo. XMD
- Propiedades Índice			
Dimensiones Abertura	mm(in)	25(1.0)	33(1.3)
Espesor mínimo costilla	mm(in)	0.76(0.03)	0.76(0.03)
- Capacidad de Carga (ASTM D6637)			
Módulo Inicial Real de trabajo	kN/m (lb/ft)	250 (17,140)	400 (27,420)
Resistencia Real a la Tensión 2% de deformación	kN/m (lb/ft)	4.1 (280)	6.6 (450)
Resistencia Real a la Tensión 5% de deformación	kN/m (lb/ft)	8.50 (580)	13.40 (920)
- Integridad Estructural			
Eficiencia de las juntas (GRI-GG2-87)	%	93	
Rigidez Flexural (ASTM D5732-95)	mg-cm	250 000	
Rigidez Torsiona (1)	kg-cm/deg	3.2	
- Durabilidad			
Supervivencia a Instalación (ASTM D5818, D6637)	%SC/%SW/%GP	90/83/70	
Resistencia a Degradación largo plazo (EPA 9090)	%	100	

Tabla 1.1 Propiedades de las Geomallas Estructurales. Fuente: Tensar Earth Technologies

MD = Dirección de la máquina
 XMD = Dirección transversal a la máquina
 SC = Arena Arcillosa
 SW = Arena bien graduada
 GP = Arena gruesa mal graduada.

(1) Según USCOE (Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos)

PROPIEDAD	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	VALOR	
			TIPO I	TIPO II
TAMAÑO DE ABERTURA: MD (Sentido Máquina) XD (Sentido Contrario Máquina)	ASTM D 4751	Pulg. Pulg.	1.0 nom. 1.3 nom.	1.0 nom. 1.3 nom.
ESPESOR: COSTILL A JUNTA	ASTM D 1777 - (64) ASTM D 1777 - (64)	Pulg. Pulg.	0.03 nom. 0.11 nom.	0.05 nom. 0.16 nom.
MÓDULO INICIAL REAL EN USO: MD XD	GR1 - GG1 - 87 GR1 - GG1 - 87	KN/m (lb/ft)	226.4 (15,170) 360.1 (24,685)	481.2 (32,980) 652.5 (44,725)
CAPACIDAD A LA TENSIÓN AL 2% DE ELONGACIÓN MD XD	GR1 - GG1 - 87 GR1 - GG1 - 87	KN/m (lb/ft)	4.09 (280) 6.57 (450)	5.98 (410) 9.78 (670)
CAPACIDAD A LA TENSIÓN AL 5% DE ELONGACIÓN MD XD	GR1 - GG1 - 87 GR1 - GG1 - 87	KN/m (lb/ft)	8.46 (580) 13.42 (920)	11.82 (810) 19.55 (1,340)
CAPACIDAD DE LAS JUNTAS MD XD	GR1 - GG1 - 87 GR1 - GG1 - 87	KN/m (lb/ft)	11.2 (765) 17.1 (1,170)	17.2 (1,180) 25.9 (1,778)
RIGIDEZ FLEXURAL	ASTM D 1388 - 96 Opción A	Mg/cm	250,000	750,000
RIGIDEZ TORSIONAL	US COE PRELIMINAR	kg-cm/deg	3.2	6.5
RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN A LARGO PLAZO	EPA 900 INMERSIÓN	%	100	100

Tabla 1.2 Características y especificaciones técnicas de la geomalla biaxial para refuerzo estructural Fuente: MOP-001- F-2002. TOMO I

Dimensiones y Despachos

Las Geomallas Estructurales se entregarán individualmente en el sitio de trabajo en forma de rollo, cada uno identificado y nominalmente midiendo 3.0 m (9.8 pies) ó 4.0 m (13.1 pies) de ancho y 75.0 metros (246,06 pies) de largo. Para pedidos especiales, las Geomallas Estructurales pueden ser cortadas a longitudes o anchuras determinadas para satisfacer los diseños de ingeniería específicos.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DE UNA CARRETERA POR EL MÉTODO AASHTO

2.1. COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO

2.1.1. SUBRASANTE

De la calidad de esta capa depende el espesor que debe tener el pavimento. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento–retracción). Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre éste, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar el problema es mediante la estabilización del suelo con algún aditivo o con cal.

2.1.2. SUB-BASE

Es una capa, generalmente constituida por agregados pétreos convenientemente graduados y compactados, construida sobre la sub-

rasante, y sobre la cual puede construirse la base cuando sea necesaria. Sus funciones son:

- Servir de drenaje al pavimento.
- Controlar o eliminar en lo posible, los cambios de volumen de elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la sub - rasante.
- Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas o de otras fuentes, protegiendo así el pavimento contra los hinchamientos en épocas de helada.

Especificaciones:

CBR	> 30%	Pasante del Tamiz 40	
Desgaste a la abrasión de los Ángeles	<50%	Índice Plástico IP	<6%
		Límite Líquido	<25%

Tabla 2.1 Especificaciones Generales para Sub-bases. Fuente: MOP-001- F-2002. TOMO I

Según el MOP-001- F-2002. TOMO I, las Sub-bases son de 3 clases, el uso está sujeto a obligación contractual. A continuación sus características:

TAMIZ	% Pasante a través de los tamices		
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3" (76.2 mm)	-	-	100
2" (50.4 mm)	-	100	-
1 1/2" (38.1 mm)	100	70-100	-
Nº 4 (4.75 mm)	30-70	30-70	30-70
Nº 40 (0,425 mm)	10-35	15-40	-
Nº 200 (0,075 mm)	0-15	0-20	0-20

Tabla 2.2 Granulometría de las diferentes Sub-bases. Fuente: MOP-001- F-2002. TOMO I



Figura 2.1 Sub-base

2.1.3.BASE

Esta capa tiene por finalidad, la de absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y, además, repartir uniformemente Estos esfuerzos a la sub - base y por medio de esta al terreno de fundación. Por lo general en

la capa base se emplea piedra triturada o chancada, grava o mezclas estabilizadas. Las bases pueden ser granulares, o bien estar constituidas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro ligante.

El material pétreo que se emplea en la base, debe llenar los siguientes requisitos:

CBR	> 80%	Pasante del Tamiz 40	
Desgaste a la abrasión de los Ángeles	<40%	Índice Plástico	
		IP	<6%
		Límite Líquido	<25%

Tabla 2.3 Especificaciones Generales para bases. Fuente: MOP-001- F-2002. TOMO I

Según el MOP-001- F-2002. TOMO I las granulometrías para las distintas clases de Bases son:

TAMIZ	% Pasante de los tamices cuadrados				
	CLASE 1		CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4
	A	B			
2" (50.4 mm)	100	-	-	-	100
1 1/2 (38.1 mm)	70-100	100	-	-	-
1" (25,4 mm)	55-85	70-100	100	-	60-90
3/4" (19,0 mm)	50-80	60-90	70-100	100	-
3/8" (9.5 mm)	35-60	45-75	50-80	-	-
Nº 4 (4.75 mm)	25-50	30-60	35-65	45-80	20-50
Nº 10 (2,00 mm)	20-40	20-50	25-50	30-60	-
Nº 40 (0,425 mm)	10-25	10-25	15-30	20-35	-
Nº 200 (0,075 mm)	2-12	2-12	3-15	3-15	0-15

Tabla 2.4 Granulometrías para bases. Fuente: MOP-001- F-2002. TOMO I



Figura 2.2 Base

2.1.4. CAPA DE RODADURA

Su función primordial será proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar así posibles infiltraciones del agua de lluvia que podría saturar total o parcialmente las capas inferiores. Además evita que se desgaste o se desintegre la base a causa del tránsito de los vehículos.



Figura 2.3 Capa de Rodadura

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada				
	A	B	C	D	E
2" (50.8 mm.)	100				
1 1/2" (38.10 mm.)	80 - 100				
1" (25.40 mm.)	60 - 80	100	100	100	100
3/8" (9.5mm.)	--	50 - 85	60 - 100	--	--
Nº 4 (4.75 mm.)	45 - 65	35 - 70	45 - 85	--	--
Nº 10 (2 mm.)	--	25 - 50	30 - 65	40 - 100	55 - 100
Nº 40 (0.425 mm.)	--	12 - 30	15 - 40	20 - 50	30 - 70
Nº 200 (0.075 mm.)	5 - 15	4 - 12	5 - 15	6 - 20	8 - 25

Tabla 2.5 Granulometrías para capas de rodadura. Fuente: MOP-001- F-2002. TOMO I

2.2 MÉTODO AASHTO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

El método de diseño AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), originalmente conocido como AASHO, fue desarrollado en los Estados Unidos, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años partir de los deterioros que experimentan representar las relaciones deterioro - sollicitación para todas las condiciones ensayadas.

A partir de la versión del año 1986, el método AASHTO comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original.

Los modelos matemáticos respectivos también requieren de una calibración para las condiciones locales del área donde se pretenden aplicar.

$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} M_R - 8,07$$

Desviación estándar normal *Desviación estándar global* *Número estructural*
 ↙ ↘ ↙
Ejes equivalentes

↘
Módulo de resiliencia

El modelo de ecuación de diseño está basado en la pérdida del índice de servicialidad (ΔPSI) durante la vida de servicio del pavimento; siendo éste un parámetro que representa las bondades de la superficie de rodadura para circular sobre ella.

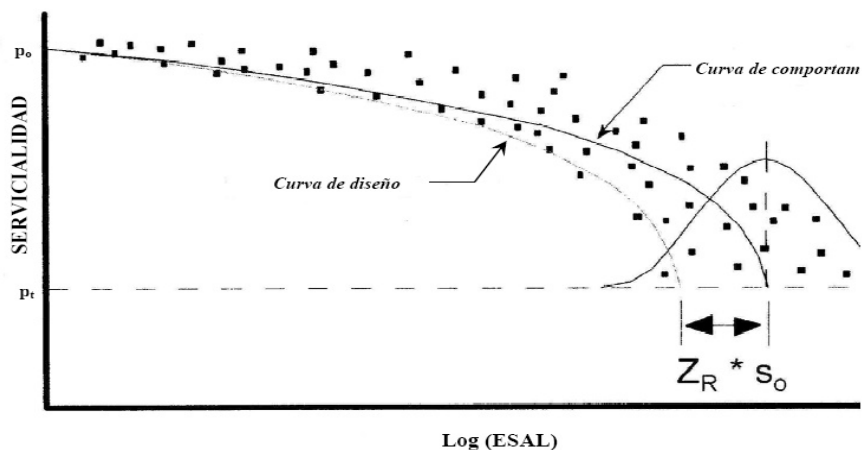


Figura 2.4 Gráfico Ejes Equivalente (ESAL) vs. Serviciabilidad ilustrando la tendencia.
Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

Confiabilidad, R, en porcentaje	Desviación estándar normal, Z_R
50	-0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Tabla 2.6 Valores de la estándar normal, Z_R , correspondientes a los niveles de confiabilidad, R Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad, R, recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y vías rápidas	85 - 99,9	80 - 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Tabla 2.7 Valores de Nivel de confiabilidad R recomendados Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

La confiabilidad en el diseño (R) puede ser definida como la probabilidad de que la estructura tenga un comportamiento real igual o mejor que el previsto durante la vida de diseño adoptada.

Cada valor de R está asociado estadísticamente a un valor del coeficiente de STUDENT (Z_R). A su vez, Z_R determina, en conjunto con el factor " S_o ", un factor de confiabilidad.

2.2.1 DESVIACIÓN NORMAL DEL ERROR ESTÁNDAR S_o , COMBINADO EN LA ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO Y EL COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO (MODELO DE DETERIORO)

Para pavimentos flexibles: Desviación estándar entre 0.40 y 0.50 (Se recomienda usar 0.45)

2.2.2 NÚMERO ESTRUCTURAL INDICATIVO DEL ESPESOR TOTAL REQUERIDO DE PAVIMENTO (SN)

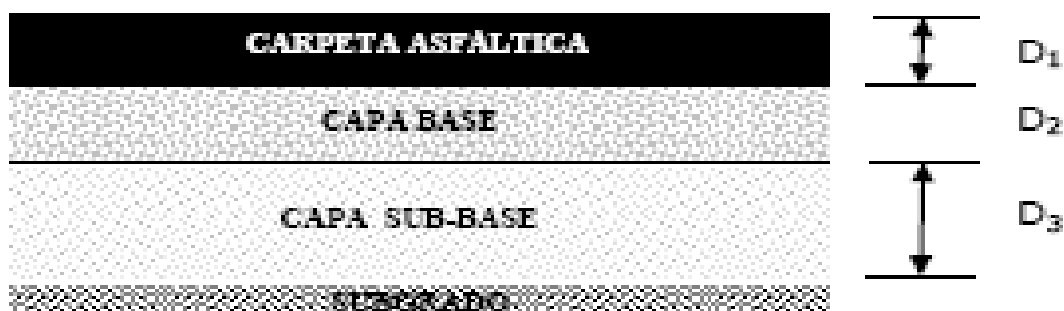


Figura 2.5 Estructura esquemática de un pavimento flexible

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 + \dots + a_n D_n m_n$$

a = coeficiente estructural de la capa

D = espesor, en pulgadas, de la capa

m = coeficiente de drenaje de la capa

n = número de capas

2.2.3 COEFICIENTES ESTRUCTURALES

Los materiales usados en cada una de las capas de la estructura de un pavimento flexible, de acuerdo a sus características ingenieriles, tienen un coeficiente estructural "a". Este coeficiente representa la capacidad estructural del material para resistir las cargas solicitantes.

Estos coeficientes están basados en correlaciones obtenidas a partir de la prueba AASHO de 1958-60 y ensayos posteriores que se han extendido a otros materiales y otras condiciones para generalizar la aplicación del método.

Tráfico, ESAL	Concreto asfáltico, D ₁	Capa Base, D ₂
50 000-	1,0 (o tratam. Superficial)	4
50 001 a 150 000	2,0	4
150 001 a 500 000	2,5	4
500 001 a 2 000 000	3,0	6
2 000 001 a 7 000 000	3,5	6
7 000 000+	4,0	6

Tabla 2.8 Valores mínimos en pulgadas. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a_1)

Si se conoce el Módulo de Elasticidad de la mezcla asfáltica en psi o si se conoce la Estabilidad Marshall en libras.

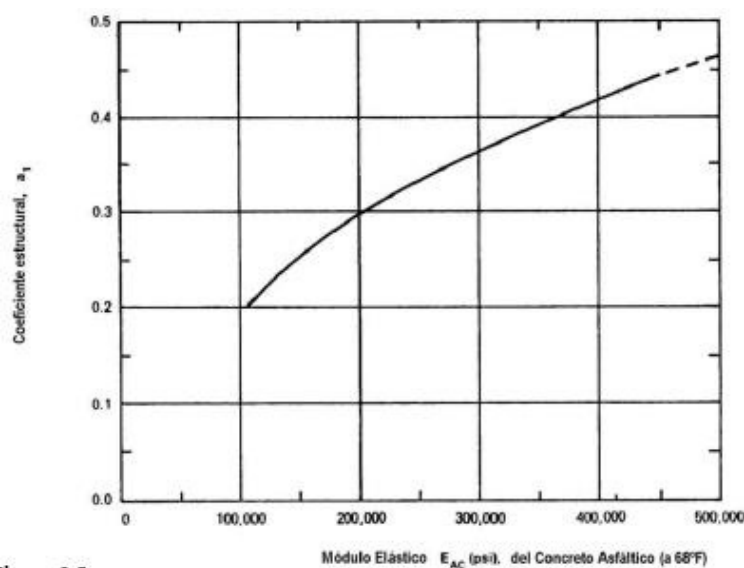


Figura 2.6 Carta para estimar coeficiente estructural a_1 a partir del módulo elástico (carpeta asfáltica) Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

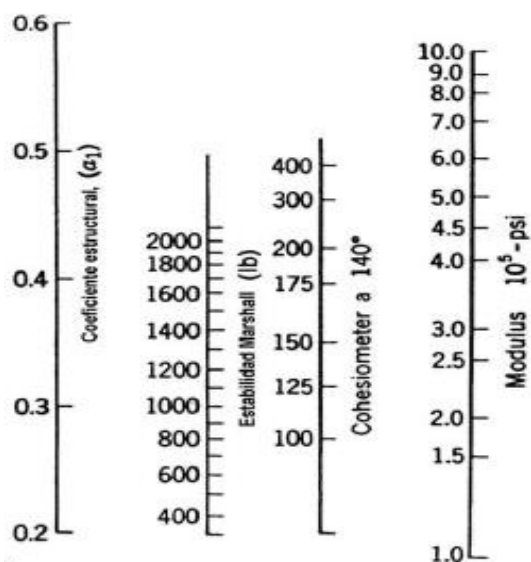


Figura 2.7 Nomograma para estimar coeficiente estructural a_1 a partir de la Estabilidad Marshall (carpeta asfáltica) Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO



Figura 2.8 Aparato Marshall para medir estabilidad vs. porcentaje de asfalto residual

Coeficiente estructural para la capa base (a₂)

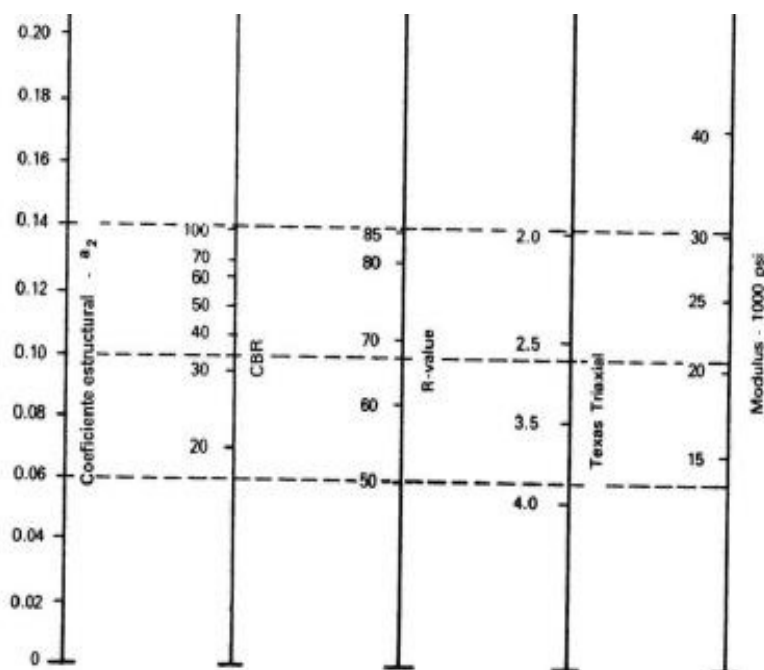


Figura 2.9 Nomograma para estimar coeficiente estructural a_2 para una base granular.
Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

Coefficiente estructural para la capa sub-base (a3)

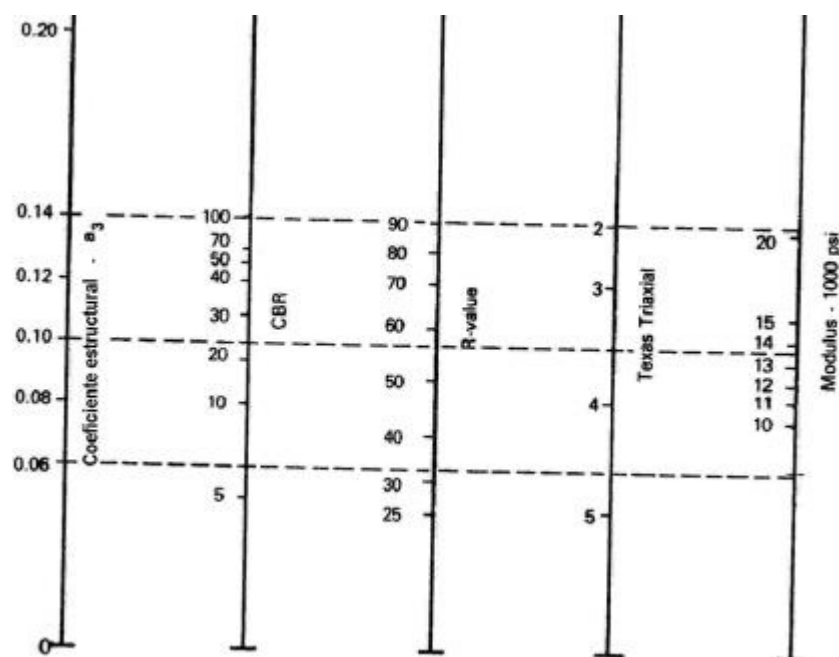


Figura 2.10 Nomograma para estimar coeficiente estructural a2 para una sub-base granular.
Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

2.2.4 COEFICIENTES DE DRENAJE (mi)

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura de pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menos de 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más del 25%
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Buena	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
Deficiente	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Tabla 2.9 Coeficientes de drenaje mi recomendados. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

La calidad del drenaje se define en términos del tiempo en que el agua tarda en ser eliminada de las capas granulares (capa base y sub-base):

Calidad de drenaje	Agua eliminada en
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Deficiente	No drena

Tabla 2.10 Calidad de drenaje de una capa del pavimento. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

Para calcular el tiempo en que el agua es eliminada será necesario conocer la permeabilidad, k , pendientes, espesores D_2 y D_3 de los materiales a utilizar como capa base y sub-base, respectivamente.

2.2.5 DIFERENCIA ENTRE EL ÍNDICE DE SERVICIALIDAD INICIAL, p_o , Y EL ÍNDICE DE SERVICIALIDAD TERMINAL DE DISEÑO, p_t (ΔPSI)

$$\Delta PSI = p_o - p_t$$

Servicialidad es la condición de un pavimento para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios en un determinado momento. Inicialmente se cuantificó la servicialidad de una carretera pidiendo la opinión de los conductores, estableciendo el índice de servicialidad p de acuerdo a la siguiente calificación:

Índice de Servicialidad, p	Calificación
0 - 1	Muy mala
1 - 2	Mala
2 - 3	Regular
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy buena

Tabla 2.11 Índice de serviciabilidad. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

Posteriormente se estableció una combinación matemática de mediciones físicas en los pavimentos, siendo una forma más objetiva de evaluar este índice.

$$p = 5,03 - 1,91 \log[1 + S_v] - 0,01 [c_f + P]^{1/2} - 1,38 RD^2$$

S_v : Varianza de las inclinaciones de la rasante existente en sentido longitudinal respecto de la rasante inicial. Mide la rugosidad en sentido longitudinal.

c_f : Suma de las áreas fisuradas en ft² y las grietas longitudinales y transversales en pie, por cada 1000 ft² de pavimento.

P : Área bacheada en ft² por cada 1000 ft² de pavimento.

RD : Profundidad media del ahuellamiento en pulgadas. Mide la rugosidad transversal.

p_o = 4,2- (4,2 es la máxima calificación lograda en la AASHO Road Test para pavimento flexible).

pt = índice más bajo que puede tolerarse antes de realizar una medida de rehabilitación = 2,5+ para carreteras con un volumen de tráfico alto ó 2,0+ para carreteras con un volumen menor.

2.2.6 MÓDULO DE RESILENCIA, EN PSI, DEL MATERIAL DE SUB-RASANTE (MR)

La capacidad del suelo se mide mediante las pruebas de CBR y Módulo de Resiliencia, dependiendo de los equipos disponibles.

Relaciones CBR - Módulo de Resiliencia:

En nuestro país no existe experiencia ni equipos para determinar el Módulo de Resiliencia. Ante esta carencia se recurre a correlaciones con el CBR.

Se puede utilizar la siguiente correlación entre el CBR de la terracería y el módulo de resiliencia:

$$\text{MR (psi)} = 1500 \text{ CBR}$$

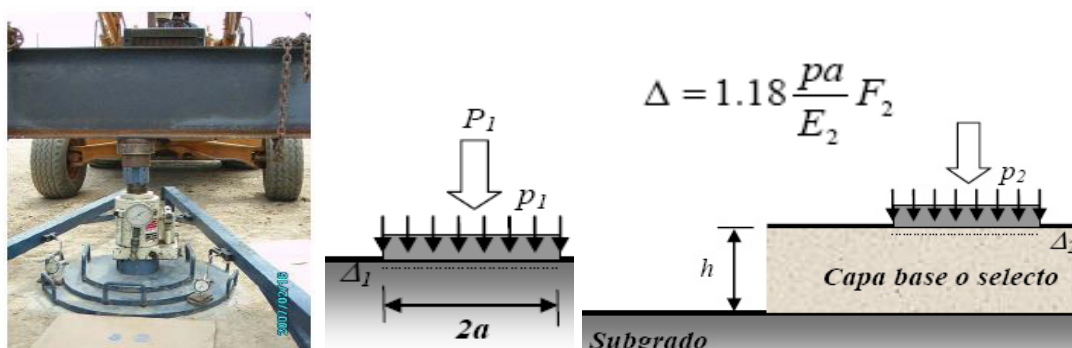


Figura 2.11 Ensayo para hallar Módulo de elasticidad

2.2.7 CANTIDAD PRONOSTICADA DE REPETICIONES DEL EJE DE CARGA EQUIVALENTE DE 18 KIPS (8,16 T = 80 KN) PARA EL PERIODO ANALIZADO. (ESAL = W18 = Equivalent Single Axle Load)

Información básica requerida:

SN = asumir un valor inicial del número estructural, considere 1 (uno) como mínimo.

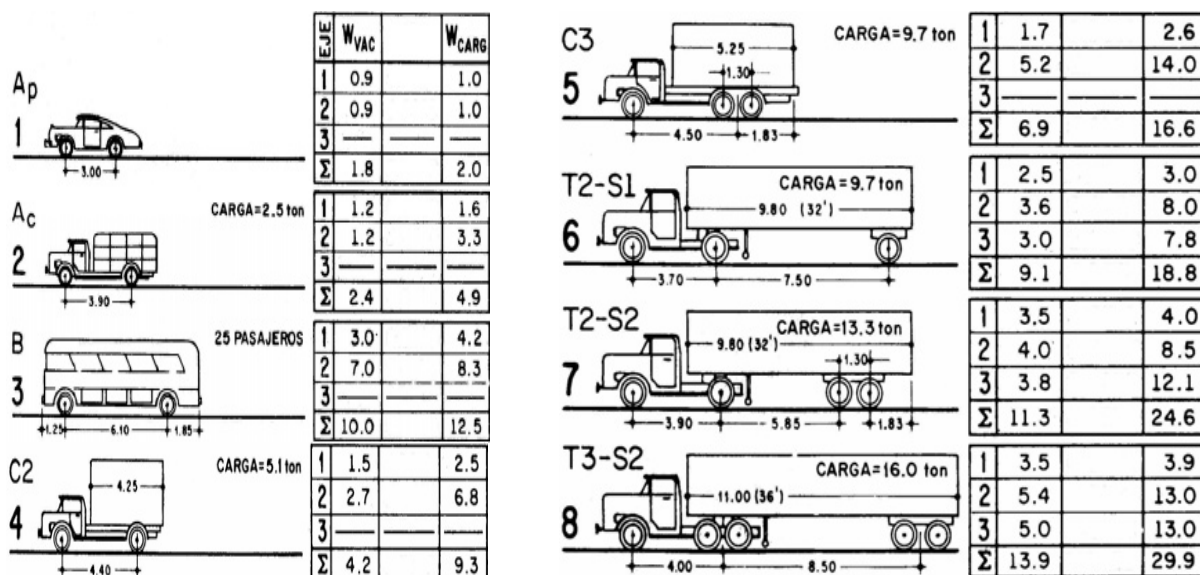
t = periodo de análisis en años

Tipo de carretera	Periodo de análisis (años), t
Urbana de alto volumen	30 a 50
Rural de alto volumen	20 a 50
Pavimentada de bajo volumen	15 a 25
Tratada superficialmente de bajo volumen	10 a 20

Tabla 2.12 Periodos de diseño según tipo de carretera. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

ADT = tránsito promedio diario anual (Average DairyTraffic) en vpd (vehículos por día), representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios de tránsito durante un año, previsible o existentes en una sección dada de la vía. Se determina por razones prácticas en forma diferenciada para cada tipo de vehículo.

Clasificación de los vehículos (vehículos de pasajeros, buses, camiones, etc.) y Composición del tráfico (tipos de ejes de carga y su respectivo porcentaje de distribución en el ADT)



W vac = Peso del vehículo vacío T = Tracto – camión C = Camión Ap = Auto pequeño
 W car = Peso del vehículo cargado S = Semi – remolque B = Buses Ac = Auto cargado

Figura 2.12 Clasificación de vehículos y la distribución de su peso (Toneladas) en sus ejes.
 Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

g = tasa de crecimiento; representa el incremento promedio anual del ADT.

En general, las tasas de crecimiento son distintas para cada vehículo.

n = número de carriles

DD= distribución direccional crítica (a menos que existan consideraciones especiales, la distribución direccional asigna un 50% del tránsito a cada dirección)

DL= factor de distribución por carril

Número de carriles en una dirección	Porcentaje del ESAL en el carril de diseño, D_L
1	100
2	80 a 100
3	60 a 80
4	50 a 75

Tabla 2.13 Porcentajes de ESAL según carriles de la carretera. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

El tránsito solicitante es un factor fundamental en todos los métodos de diseño estructural de pavimentos. Las cargas de los vehículos son transmitidas al pavimento mediante dispositivos de apoyo multiruedas para distribuir la carga total solicitante sobre una superficie mayor, siendo posible reducir los esfuerzos y deformaciones que se producen al interior de la superestructura. El número y composición de los ejes pesados que solicitarán al pavimento durante su vida de diseño se determinan a partir de la información básica suministrada.

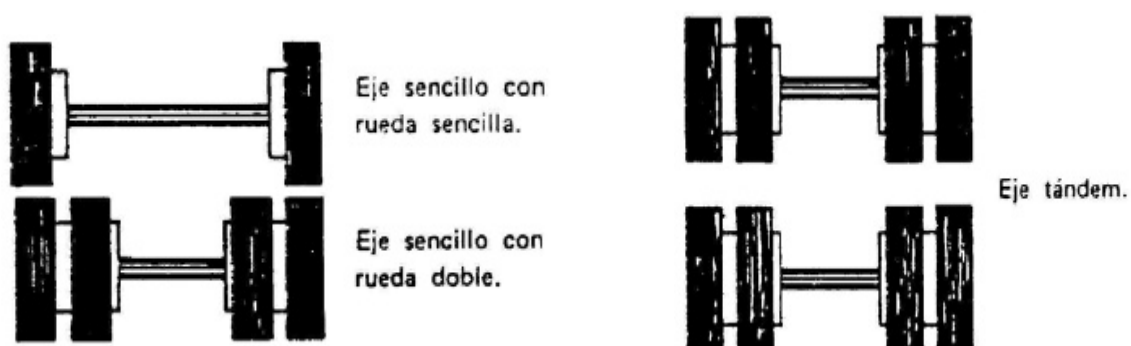


Figura 2.13 Clasificación de los ejes de vehículos. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

2.2.8 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

- 1) Asuma un valor del número estructural = SN (asumido)
- 2) Determine los factores de equivalencia, F; usando la Tabla 2.13 o la siguiente ecuación:

$$\log\left(\frac{w_{ix}}{w_{i18}}\right) = 4,79 \log(18 + 1) - 4,79 \log(L_x + L_2) + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}} + 4,33 \log L_2$$

donde

$$G_t = \log_{10}\left(\frac{4,2 - p_t}{4,2 - 1,5}\right) \quad \beta_x = 0,40 + \frac{0,081(L_x + L_2)^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19} L_2^{3,23}}$$

$$\beta_{18} = 0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}$$

$$F = \frac{1}{\left(\frac{w_{ix}}{w_{i18}}\right)}$$

siendo

$L_2 = 1, 2, 3$ para ejes sencillos, tandem y triple, respectivamente.
 $L_x =$ carga del eje en kips.

Table D.1. Axle load equivalency factors for flexible pavements, single axles and p_t of 2.0 ($p_o = 4,2$ $L_2 = 1$)

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	.002	.003	.002	.002	.002	.002
6	.009	.012	.011	.010	.009	.009
8	.030	.035	.036	.033	.031	.029
10	.075	.085	.090	.085	.079	.076
12	.166	.177	.189	.183	.174	.168
14	.325	.338	.354	.350	.338	.331
16	.589	.598	.613	.612	.603	.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.8
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

Tabla 2.14 Factores de Equivalencia en carga por eje para pavimentos flexibles. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

Los resultados de la Prueba de Carreteras AASHTO mostraron que el daño que produce un eje con una carga determinada puede representarse por el número de pasadas de un eje sencillo de 18 kips (8,16 t = 80 kN) de rueda doble, considerado como eje patrón, que produce un daño similar.

Distintas configuraciones de ejes y cargas inducen daños diferentes en el pavimento, pudiendo asociarse dicho deterioro al producido por un determinado número de ejes convencionales de 18 kips de carga por eje sencillo de rueda doble.

3) Calcular las repeticiones diarias para cada eje = $ADT \times \% \text{ Composición}$

4) Calcular los ejes equivalentes de 18 kips esperados el primer día de apertura del pavimento, ESAL.

Tipo de vehículo	Ap	B	T2-S2	TOTAL
Cantidad				ADT
% Composición				100%

Tabla 2.15 Esquema para llenar con la cantidad y porcentajes de los vehículos de la carretera. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

SN (asumido) = _____

Tipo de vehículo	Ejes de carga (kips)	% Composición	Factor de equivalencia	Repeticiones diarias	Ejes equivalentes
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=ADT×(3)	(6)=(5)×(4)
Ap	2S				
	2S				
B	8S				
	16S				
T2-S2	8S				
	18S				
	24T				

ESAL₀ = _____

Tabla 2.16 Forma para calcular Ejes equivalentes. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

5) Calcular los ejes equivalentes esperados el primer año de uso del pavimento $w_{18} = ESAL_0 \times 365$. Realizar los ajustes a causa del número de carriles y la distribución direccional:

$$w_{18} = DD \times DL \times \omega_{18}$$

6) Pronosticar la cantidad de repeticiones del eje equivalente de 18 kips esperados al final del periodo de diseño, $W_{18} = ESAL$:

$$ESAL = W_{18} = w_{18} \left[\frac{(1+g)^t - 1}{g} \right]$$

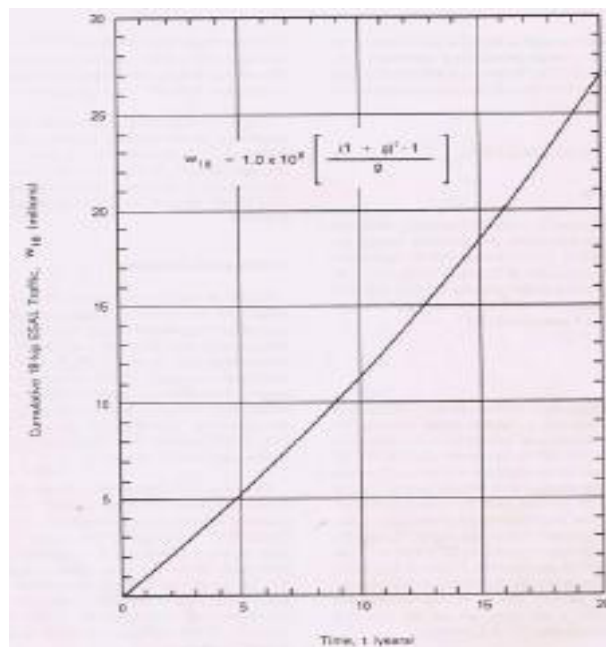


Figura 2.14 W_{18} acumulado vs. Periodo de diseño en años de la carretera. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

7) Resolver la ecuación de diseño para SN. Esto nos proporcionará el SN calculado.

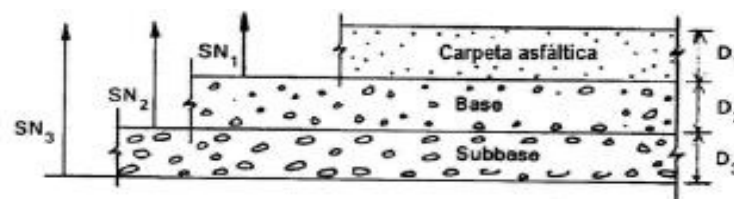
$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} M_R - 8,07$$

8) Comparar el SN (asumido), el que utilizó para determinar los factores de equivalencia, con el SN (calculado)

Si la diferencia es menor a 1, entonces pase al punto 9).

Si la diferencia es mayor a 1, entonces proceda iterativamente hasta lograr que SN (calculado) = SN (asumido).

9) Utilice el procedimiento de la Figura 2.15 para determinar los espesores requeridos de acuerdo al SN encontrado.



$$D^*_1 > \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN^*_1 = a_1 D^*_1 > SN_1$$

$$D^*_2 > \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 m_2}$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 > SN_2$$

$$D^*_3 > \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3 m_3}$$

Figura 2.15 Procedimiento para determinar espesores de las capas de pavimento. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

Para determinar el espesor de la carpeta asfáltica D1 se asume que toda la resistencia, para soportar las repeticiones pronosticadas, la brinda la carpeta asfáltica.

Se resuelve la ecuación de diseño colocando en lugar del MR de la terracería, el valor del EBS obtenido por ensayo directo o por correlación con una prueba de resistencia como el CBR. Al resolver la ecuación de diseño se obtiene un $SN = SN_1$

$$SN_1 = a_1 D_1$$

$$D_1^* \geq SN_1 / a_1$$

Se redondea el valor de D1 a un entero de pulgada o media pulgada. Este será el valor D1 *

$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9,36 \log_{10}(SN_1 + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN_1 + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} E_{BS} - 8,07$$

4.2 Para determinar el espesor de la capa base D2 se asume que toda la resistencia la brinda la carpeta asfáltica y la capa base, de manera que

$$SN_2 = SN_1 + a_2 D_2 m_2$$

donde SN2 se determina con la ecuación de diseño colocando en lugar del MR el valor del módulo de elasticidad de la capa sub-base ESB obtenido por ensayo directo o por correlación con una prueba de resistencia como el CBR.

Con este valor de SN = SN2

Para determinar el espesor de la capa sub-base se asume que toda la resistencia la brinda la carpeta asfáltica+capa base+capa sub-base, pero esto ya se realizó cuando usamos el Módulo de resiliencia de la terracería MR para calcular el SN que se convertirá en SN3.

$$SN_3 = SN_1 + SN_2 + a_3 D_3 m_3$$

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3}$$

$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9,36 \log_{10}(SN_3 + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN_3 + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} M_R - 8,07$$

2.3 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA BAJADA DE CHANDUY – AGUAS VERDES – POCITO (ABSC. 2+900 HASTA ABSC. 3+600) POR MÉTODO AASHTO

Carretera rural de bajo volumen de tránsito.

Hombros de asfalto.

Tráfico promedio diario anual, ADT = 218 vpd

Tasa de crecimiento medio anual, g = 7%

Periodo de diseño, t = 20 años

Sustituyendo estos parámetros en la ecuación de diseño:

$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} M_R - 8,07$$

se obtiene un SN = 4,70 comparado con el SN (supuesto) = 4,0 in OK!

Primeramente, SN = SN1



$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9,36 \log_{10}(SN_1 + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN_1 + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} E_{BS} - 8,07$$

Obtenemos $SN_1 = 2,2 = a_1 D_1$

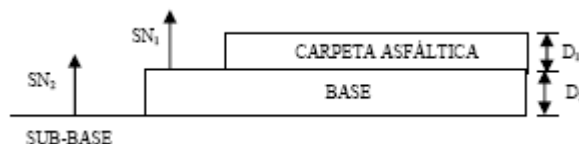
$D_1^* \geq SN_1 / a_1 = 2,2 / 0,3 = 7,33$

$D_1^* = 7,5$ in.

$SN_1^* = a_1 D_1^* \geq SN_1$

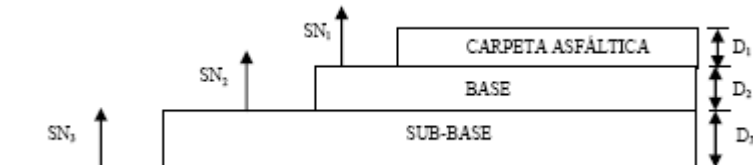
$SN_1^* = 0,3 \times 7,5 = 2,25$

Después, $SN = SN_2 = SN_1 + a_2 D_2 m_2$



$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9,36 \log_{10}(SN_2 + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN_2 + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} E_{SB} - 8,07$$

Se obtiene $SN_2 = 2,8 = SN_1 + a_2 D_2 m_2$
 $D_2^* \geq (SN_2 - SN_1^*) / a_2 m_2 = (2,8 - 2,25) / 0,125 / 0,8$
 $D_2^* = 5,5 \text{ in}$
 $SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$
 $SN_2^* \geq SN_2 - SN_1^* = 2,8 - 2,25$
 $SN_2^* = 0,55$
 Así, $SN = SN_3 = SN_1 + SN_2 + a_3 D_3 m_3 = 4,7$

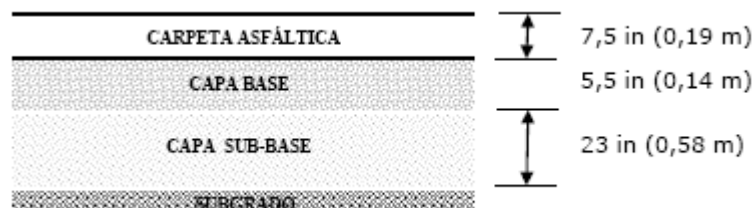


$$D_3 \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3}$$

$$D_3 \geq \frac{4,7 - (2,25 + 0,55)}{0,103 \times 0,8} = 23,05$$

$$D_3 = 23 \text{ in}$$

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 = 4,69 \approx 4,7$$



Estructuralmente, este diseño pasa todas las exigencias. Constructivamente se vuelve un poco exagerado en uso de recursos. Pero indiscutiblemente nos genera un perjuicio económico emplear un pavimento de estas dimensiones. Se puede reordenar los espesores de las capas, en base a los resultados obtenidos inicialmente, de manera que satisfagan el número estructural y nos expongan una propuesta económica y constructiva más loable. En función de

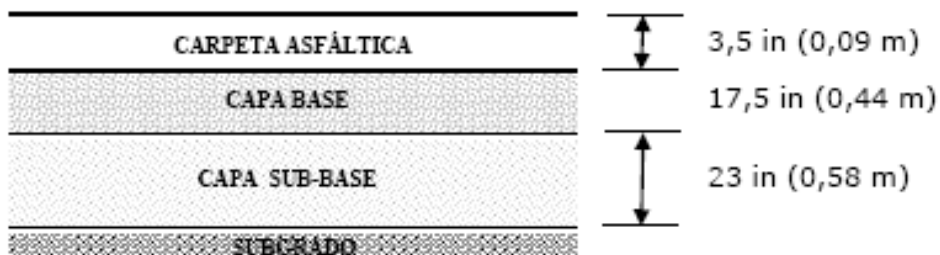
esto la nueva estructura de nuestro pavimento tomará en cuenta espesores mínimos, el cálculo es el que viene a continuación.

$D_1 = 3,5 \text{ in} = D_1^*$ (Véase Tabla de espesores mínimos)
 $SN_1^* = a_1 D_1^* = 0,3 \times 3,5 = 1,05$
 $SN_2 = 2,8$ (no cambia)
 $D_2^* \geq (SN_2 - SN_1^*) / a_2 m_2 = (2,8 - 1,05) / 0,125 / 0,8$
 $D_2^* = 17,5 \text{ in}$
 $SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$
 $SN_2^* \geq SN_2 - SN_1^* = 2,8 - 1,05$
 $SN_2^* = 1,75$
 $SN_3 = 4,7$

$$D_3 \geq \frac{4,7 - (1,05 + 1,75)}{0,103 \times 0,8} = 23,05$$

$$D_3 = 23 \text{ in}$$

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 = 4,69 \approx 4,7$$



CAPA	ESPEJOR (m)
CARPETA ASFÁLTICA	0.10
CAPA DE BASE	0.45
CAPA DE SUBBASE	0.60
ESPEJOR TOTAL DE PAVIMENTO	1.15

Tabla 2.17 Espesores por capa de pavimento en diseño sin geomalla

CAPÍTULO 3

REFUERZO EN VÍAS CON GEOMALLAS BIAXIALES

3.1 GENERALIDADES

Los pavimentos flexibles se caracterizan por ser sistemas multicapa, los cuales están diseñados para absorber y disipar los esfuerzos generados por el tráfico, por lo general estas estructuras poseen capas de mejor calidad cerca de la superficie donde las tensiones son mayores.

Tradicionalmente un pavimento flexible trabaja distribuyendo la carga aplicada hasta que llegue a un nivel aceptable para la subrasante. Este tipo de pavimentos lo conforman una capa bituminosa apoyada sobre una capa de base que puede ser piedra partida, grava bien graduada o materiales estabilizados (con cementos, cal o asfalto) y una de subbase con material de menor calidad.

Existen diferentes metodologías de diseño para pavimentos flexibles incluyendo métodos empíricos, métodos limitando la fuerza de corte, métodos limitando la deflexión, métodos regresivos y métodos mecánicos - empíricos. El método AASHTO es un método de regresión basado en resultados empíricos obtenidos por la AASHTO Road Test en los años 50.

Esta metodología es la empleada como punto de partida para el desarrollo de la inclusión de geomalla de refuerzo.

3.2 INTRODUCCIÓN

La metodología que se presenta a continuación se basa en la versión de 1993 del método de diseño de pavimentos flexibles de la AASHTO. La cual ha sido modificada para explicar la contribución estructural de las geomallas biaxiales coextruídas, según la investigación desarrollada por Filippo Montanelli, Aigen Zhao y Pietro Rimoldo, Ingenieros investigadores de TENAX CORP.

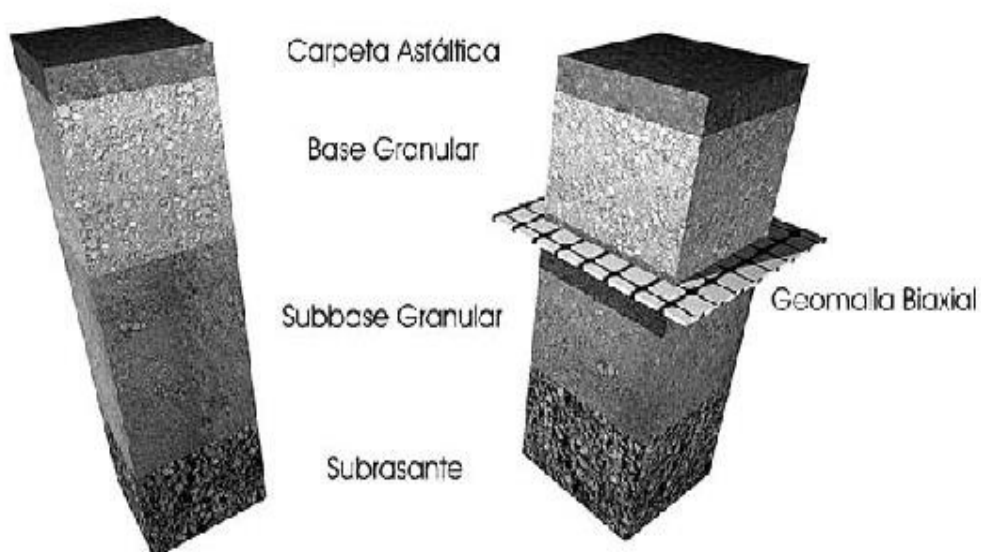


Figura 3.1 Sección típica de estructuras de pavimento asfáltico

La modificación del método de la AASHTO empleando geomallas biaxiales coextruídas para refuerzo de pavimentos flexibles, se realizó con base en ensayos de laboratorio y verificaciones en campo a escala real por los autores mencionados.

Los datos recolectados fueron analizados y con base a ellos se desarrolló una metodología aplicable a geomallas de alto módulo de tensión y caracterizadas por su capacidad de trabazón con los agregados y alta resistencia en sus juntas.

3.3 MECANISMOS DE REFUERZO GENERADOS POR LAS GEOMALLAS

A través de múltiples investigaciones (Giroud y Noiray, 1981; Giroud et al. 1985; Berg et al, 2000), se ha encontrado que los 3 mecanismos principales de refuerzo que proporciona una geomalla biaxial son los siguientes.

3.3.1 Confinamiento lateral de la base o subbase

El cual se logra a través de la fricción y trabazón de la geomalla con el agregado. Esto se presenta debido a que los módulos de los materiales granulares son dependientes del estado de esfuerzos, al aumentar el confinamiento lateral, aumenta el módulo de la capa granular sobre la geomalla



Figura 3.2 Confinamiento lateral generado por la geomalla en un material granular

3.3.2 Mejoramiento de la capacidad portante

Se logra desplazando la superficie de falla del sistema de la subrasante blanda hacia la capa granular de mucha más resistencia. Este mecanismo tiende a tener mayor validez en vías sin pavimentar o cuando el estado de esfuerzos sobre la subrasante es alto.

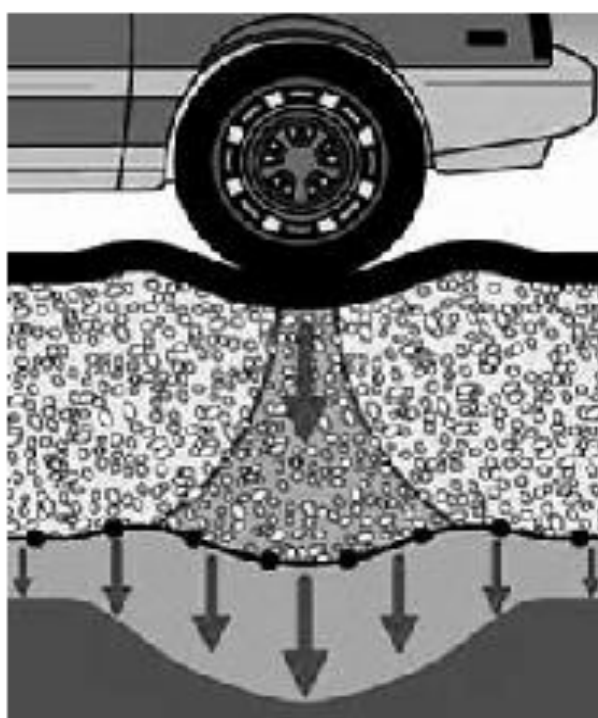


Figura 3.3 Capacidad Portante

3.3.3 Membrana tensionada

Este efecto se origina en la propiedad por la cual un material flexible elongado, al adoptar una forma curva por efecto de la carga, el esfuerzo normal sobre su cara cóncava es mayor que el esfuerzo sobre la cara convexa, lo cual se traduce en que bajo la aplicación de carga el esfuerzo

vertical transmitido por la geomalla hacia la subrasante es menor que el esfuerzo vertical transmitido hacia la geomalla. Sin embargo, este mecanismo solo ocurre a niveles de deformación demasiados altos como los que ocurren en vías sin pavimentar después de un número de repeticiones de carga elevado.

De acuerdo con lo anterior, el mecanismo de mayor importancia para las estructuras viales es el confinamiento lateral, mediante el cual se alcanzarían 4 beneficios principales:

- **Restricción del desplazamiento lateral de los agregados de la base o subbase**

La colocación de una o varias capas de la geomalla dentro o en el fondo de la capa de base permite la interacción por cortante entre el agregado y la geomalla, a medida que la base trata de desplazarse lateralmente. La carga por cortante es transmitida desde el agregado de la capa granular hacia la geomalla y la coloca en tensión. La alta rigidez de la geomalla actúa para retardar el desarrollo de la deformación por tensión en el material adyacente a esta, situación que se generará constantemente en la zona donde se encuentra un diferencial de tipos de estructura. Una deformación lateral más pequeña de la base o subbase se traduce en menor deformación vertical de la superficie de la vía.

- **Aumento del confinamiento y de la resistencia de la base o subbase en la vecindad del refuerzo**

Se espera un incremento en la rigidez de la capa granular cuando se desarrolla una adecuada interacción entre esta y la geomalla. Un aumento en el módulo de la base resultaría también en menores deformaciones verticales dinámicas recuperables de la superficie de la vía, implicando una reducción en la fatiga del pavimento.

- **Mejoramiento en la distribución de esfuerzos sobre la subrasante**

En sistemas estratificados, cuando existe un material menos rígido por debajo de la base o subbase, un aumento en el módulo de la capa de base o subbase resulta en una distribución de los esfuerzos verticales más amplia sobre la subrasante. En términos generales, el esfuerzo vertical en la subbase o subrasante directamente por debajo de la geomalla y de la carga aplicada debe disminuir a medida que aumenta la rigidez de la base. Esto se refleja en una deformación superficial menor y más uniforme.

- **Reducción del esfuerzo y deformación por corte sobre la subrasante**

La disminución de la deformación por corte transmitida desde la base o subbase hacia la subrasante a medida que el cortante de la base transmite las cargas tensionales hacia el refuerzo, sumado a los menores esfuerzos verticales genera un estado de esfuerzos menos severo que lleva a una menor deformación vertical de la subrasante.

3.4 ENSAYO A ESCALA REAL DE UNA ESTRUCTURA REFORZADA CON GEOMALLA BIAxIAL COEXTRUÍDA

Las conclusiones y los resultados empíricos fueron obtenidos durante el análisis de una estructura de pavimento con secciones reforzadas y no reforzadas, utilizadas para realizar el ensayo de pavimento a escala real. Las variables que se estudiaron fueron las siguientes: Resistencia de la subrasante (CBR), espesor de la capa de grava, tipo de geosintético, número de ejes equivalentes (ESAL). Para verificar la capacidad de refuerzo de la geomalla en la base, se construyó una vía con una sección de 210 m aplicando procesos de laboratorio para poder obtener datos confiables y reproducibles para mediciones “in situ” y para realizar la comparación entre secciones reforzadas y no reforzadas. La vía es similar a un semi-óvalo que tiene secciones rectilíneas de 36 y 20 m de longitud y curvas con un radio de 17 m como se muestra en la figura.

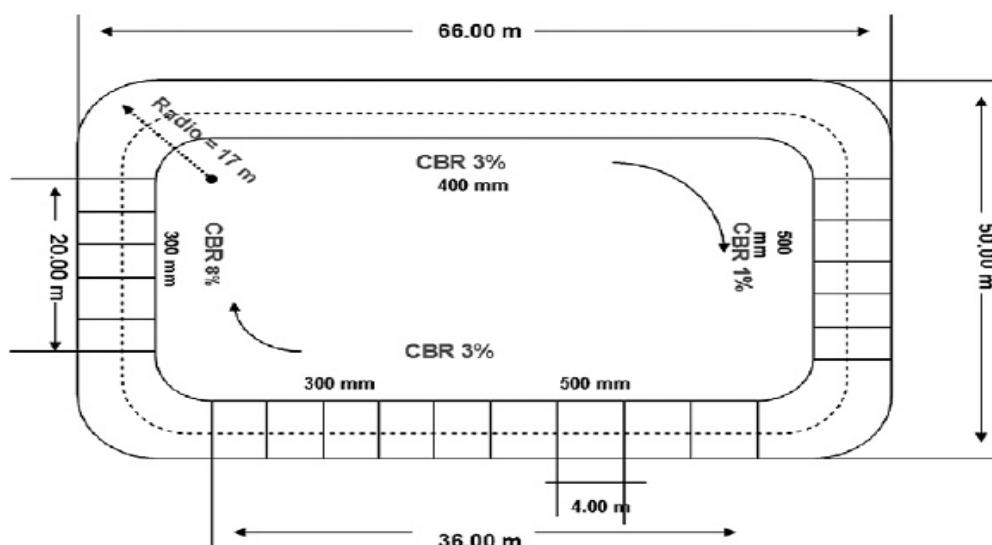


Figura 3.4 Vista en planta de la sección típica de la vía utilizada en el ensayo

El borde extremo de las curvas fueron realizadas ligeramente dando un efecto de “parabólica” para facilitar el paso de los vehículos en las curvas evitando la desaceleración.

Para analizar varias condiciones, se tomaron diferentes valores de CBR en la subrasante (1%, 3% y 8%).

Las dimensiones de las capas de refuerzo fueron de 2.2 m por 4.6 m para dejar 0.20 m de traslapo a lo largo de la vía en el eje central y 0.30m de traslapo a lo ancho de la sección de la vía entre capas de refuerzo adyacentes. Más de 56 secciones diferentes fueron instaladas con y sin refuerzo, teniendo diferentes valores de resistencia en la subrasante, y espesores de base. Para la sección típica de la vía se excavó una zanja donde se colocó una subrasante de espesor 0.7 m y CBR de 1% ,3% y 8%. Posteriormente, se colocó la geomalla y por último se relleno con espesores entre 0.3 m y 0.5 m con grava seleccionada y debidamente compactada. Para la capa de concreto asfáltico se mantuvo un espesor constante de 7.5 mm a lo largo de toda la sección de la vía.

Más de 160 ejes equivalentes fueron aplicados por un vehículo que transitaba en un sólo sentido. El vehículo seguía un camino definido por las líneas centrales demarcadas en la carpeta asfáltica, de esta forma se garantizaba que las llantas circularan siempre por el mismo lugar.

El vehículo utilizado en el ensayo, fue un camión estándar con eje Tandem en la parte trasera y un eje sencillo en la parte delantera. Los ejes fueron

cargados con 90 KN y 45 KN respectivamente. El camión mantenía una velocidad constante de 20 Km/h a lo largo de su trayecto, de esta forma cada vuelta era completada cada 60 segundos aproximadamente.

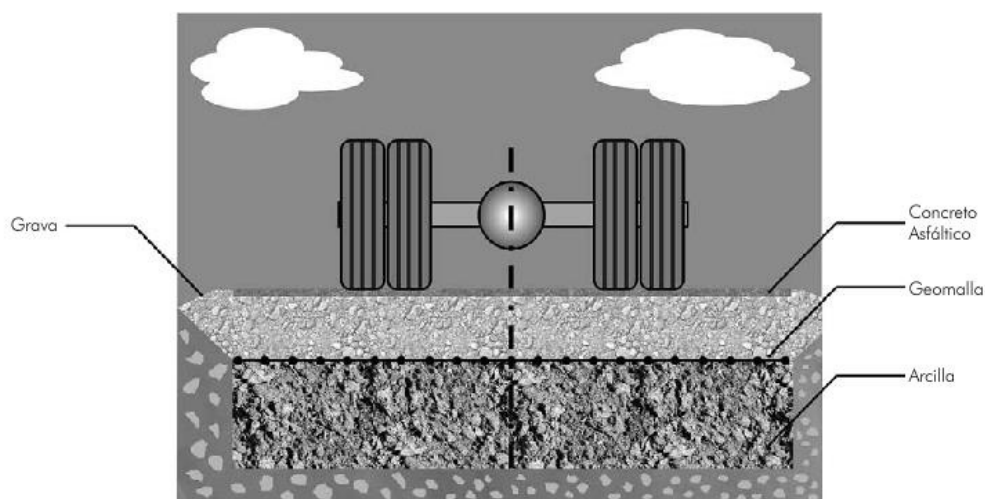


Figura 3.5 Vista en corte de la sección típica de la vía del ensayo

Las conclusiones obtenidas en el ensayo de las secciones reforzadas y no reforzadas, fueron realizadas a través de gráficos (en función de la resistencia del suelo de la subrasante, número de ciclos y coeficiente de las capas) estos gráficos permiten a los Ingenieros diseñar correctamente, estructuras de pavimento flexible utilizando refuerzo con geomallas coextruídas. Los datos empíricos conseguidos se pueden aplicar exclusivamente a los tipos de geomalla TENAX aquí especificados:

- **Geomallas Tenax LBO SAMP** (geomallas rígidas con valores de esfuerzo y módulo de resistencia altas, caracterizadas por una excelente capacidad de efecto “interlock”)

Los tipos de geomalla considerados han sido divididos en dos clases basándose en los valores de su resistencia a la tensión:

- Tipo A, con un valor de resistencia a la tensión de 20 KN/m
- Tipo B, con un valor de resistencia a la tensión de 30 KN/m

En la siguiente tabla se listan las diferentes clases de geomalla TENAX de acuerdo a los tipos A y B,

Tipo A	Tipo B
Esfuerzo a la tensión de 20 KN/m	Esfuerzo a la tensión de 30 KN/m
LBO 202 SAMP	LBO 302 SAMP
LBO 220 SAMP	LBO 330 SAMP

Tabla 3.1 Tipos de geomallas TENAX considerados para el refuerzo de vías en pavimentos flexibles. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

En la figura se especifican las curvas de iso-deformaciones las cuales muestran el incremento en la vida útil de servicio de la vía con una estructura reforzada. Por medio de esta gráfica se evalúa el aumento de la vida útil de diseño (en términos del incremento del número de pasadas) al instalarse una geomalla TENAX como refuerzo en la sección de la vía.

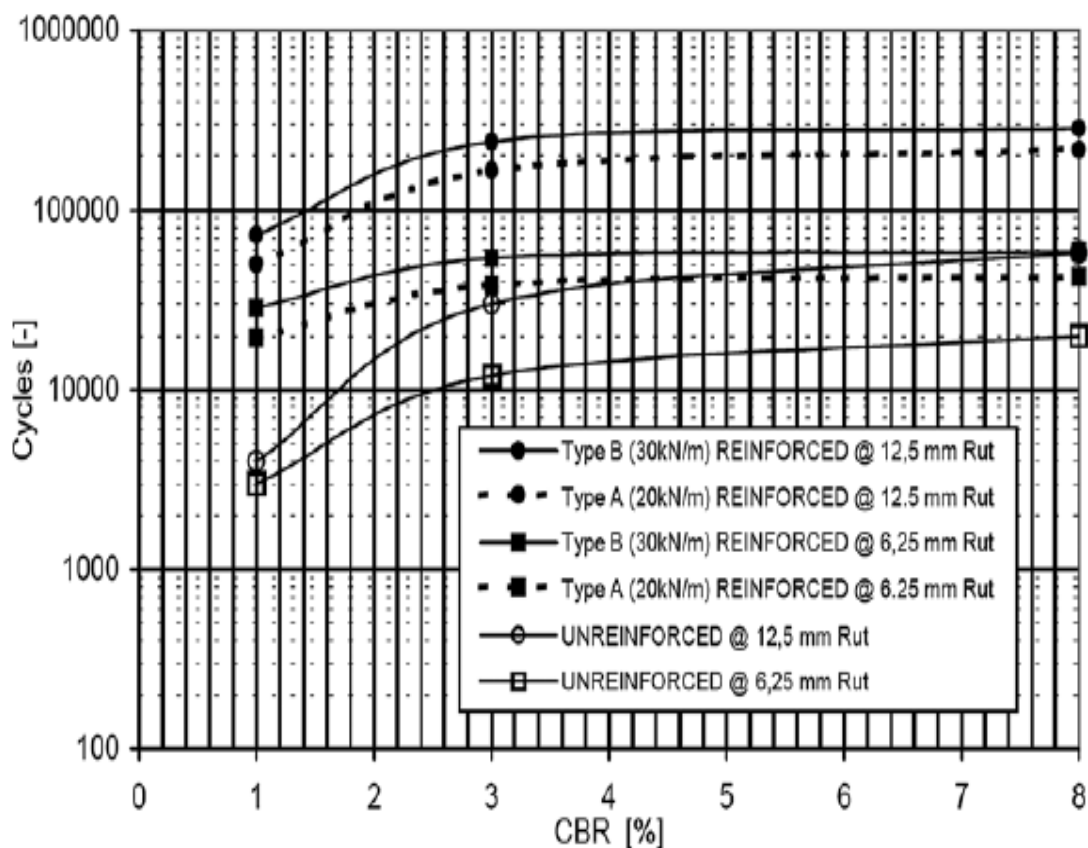


Figura 3.6 Curvas de iso-deformaciones (CBR Vs. Número de ciclos en secciones reforzadas y no reforzadas en el fondo de la vía). Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

En la siguiente figura se listan las curvas de Traffic Improvement Ratio (mejoramiento del índice de tráfico) provenientes de las geomallas TENAX determinadas anteriormente. El TIF (Traffic Improvement Ratio) es la proporción de número de ciclos de carga, en secciones reforzadas y no reforzadas aplicados en el fondo de la vía. El TIF para periodos de servicio largos, aumenta de forma considerable los valores de CBR y números estructurales bajos.

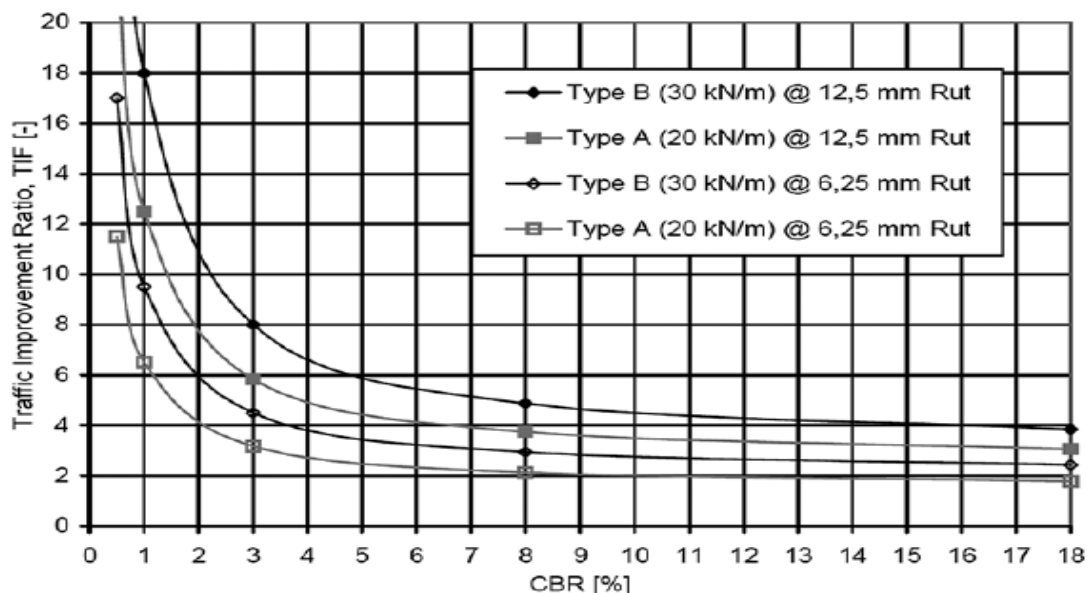


Figura 3.7 Incremento del factor de Tráfico Vs. CBR para dos profundidades de ahuellamiento. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

La siguiente sección contiene la metodología de diseño paso a paso para la estimación del número estructural requerido y el diseño de la estructura usando las ecuaciones del método AASHTO para pavimentos flexibles, y la introducción del Layer Coefficient Ratio (LCR) de la geomalla biaxial, el cual cuantifica la contribución estructural de la geomalla a la estructura de pavimento.

3.5 MÉTODO AASHTO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES REFORZADOS CON GEOMALLAS COEXTRUÍDAS

La contribución estructural de una geomalla en un sistema de pavimentos flexible puede cuantificarse con el incremento al esfuerzo del coeficiente de la capa de la base de la vía.

Por lo anterior, se presenta la ecuación:

$$SN = \alpha_1 D_1 + \alpha_2 LCR D_2 m_2 + \alpha_3 D_3 m_3$$

Donde LCR tiene un valor superior a uno. Este valor es determinado basándose en los resultados de laboratorio y en pruebas de campo en sistemas de pavimentos flexibles con y sin utilización de las geomallas, como se describe en la siguiente ecuación. SN r (número estructural de la sección reforzada) y SN u (número estructural de la sección no reforzada) utilizados en la ecuación fueron evaluados bajo condiciones de pavimento iguales. Por ejemplo igual profundidad de la base, valor de CBR en subrasante, profundidad de ahuellamiento, pero utilizando diferentes períodos de vida de servicio.

$$LCR = \frac{SN_r - SN_u}{\alpha_2 D_2} + 1$$

Basándose en la ecuación se puede calcular el valor de LCR el cual se obtuvo de los ensayos realizados a la sección típica de la vía. En la Figura 6.9 se presenta el LCR basado en los ensayos de pavimentos empíricos con y sin refuerzo de geomallas. El valor de LCR oscila entre 2 a 1.5 dependiendo básicamente del valor de CBR de la subrasante, ESAL y profundidad de ahuellamiento de la vía.

La contribución estructural de la geomalla de refuerzo es casi constante cuando el valor de CBR de la subrasante es superior a 3% mientras que para

un valor de 1% en el CBR de la subrasante la contribución estructural de la geomalla es significativamente más alta.

La reducción en espesor de la base puede ser evaluada con el uso de una geomalla asumiendo que no existe una capa de sub-base.

$$D_2 = \frac{SN_r - a_1 D_1 m_2}{LCR a_2 m_2}$$

Se puede reducir el espesor de la capa de asfalto mediante la ecuación,

$$D_1 = \frac{SN_r - LCR a_2 D_2}{a_1}$$

Usando el siguiente gráfico de diseño es posible calcular el espesor de D2 de la base en una vía reforzada en pavimentos flexibles. De acuerdo a los valores (D 1, a 1, D 2, a 2, m 2) de una sección no reforzada es posible determinar el SN (numero estructural) ara una sección reforzada considerando que el CBR de la subrasante es proporcional al valor de LCR dado la gráfica de diseño. Posteriormente puede determinarse el espesor D 2 (Ahorro relativo en costos) ara un refuerzo de vía en pavimentos flexibles.

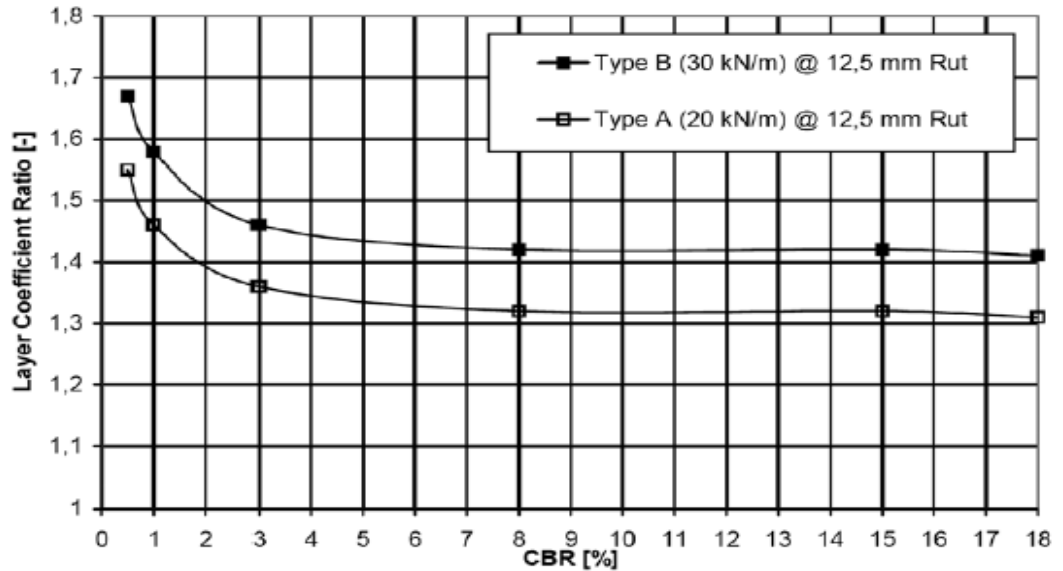


Figura 3.8 LCR vs. CBR de la subrasante. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

3.6 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA BAJADA DE CHANDUY – AGUAS VERDES – POCITO (ABSC. 2+900 HASTA ABSC. 3+600) UTILIZANDO GEOMALLAS

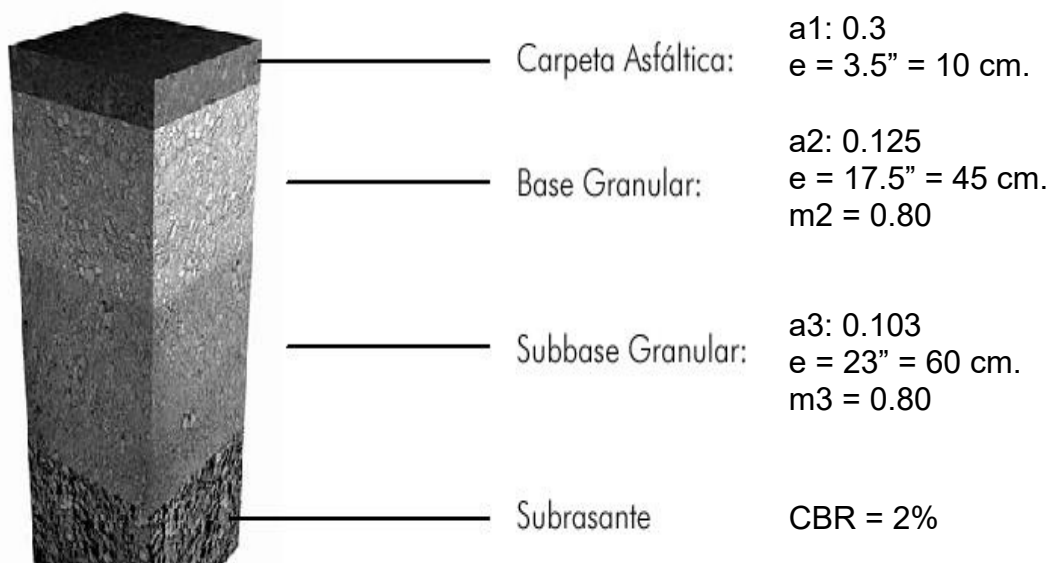


Figura 3.9 Espesores de capas de pavimento según diseño

Primero se procede a calcular el número estructural según metodología AASHTO de la estructura.

Utilizando la ecuación del número estructural y con los valores de coeficientes ya obtenidos, se obtiene el número estructural de la estructura original o sin refuerzo. Los espesores de cada capa deben manejarse en pulgadas.

Para nuestro caso.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 = 4,69 \approx 4,7$$

Luego se calcula la estructura sustituyendo la base granular.

Con el número estructural inicial, se realiza una sustitución de la base granular por subbase granular, determinando espesores equivalentes obteniendo el mismo valor numérico del número estructural inicial. Este nuevo espesor se denomina D_3' .

$$SN = 4.7$$

$$SN = a_1 D_1 + a_3 D_3' m_3$$

$$4.7 = 0.30 \times 3.5 + 0.103 \times D_3' \times 0.80$$

$$D_3' = \frac{.53 - 0.40 \times 2.76}{.11 \times 1.00}$$

$$.11 \times 1.00$$

$$D_3' = 44.30 \text{ pulg} \approx 45 \text{ pulg.}$$

Luego se calcula de nuevo el espesor de la capa de subbase con refuerzo

Empleando una geomalla de 20 KN/m (Tipo A), en este caso aportado por la geomalla bi-axial LBO 202 para una subrasante con CBR = 2%, se obtiene

de la Figura 3.8 un valor de LCR o coeficiente de aporte de la geomalla a la capa granular de la estructura de:

$$\text{LCR} = 1.39$$

Para incluir el aporte de la geomalla dentro de la estructura de pavimento y obtener una disminución de espesor, se debe mantener constante a través de los cálculos realizados el valor inicial del número estructural.

$$\begin{aligned} \text{SN}_r &= \text{SN} \\ \text{SN}_r &= 4.7 \end{aligned}$$

A continuación se realiza el cálculo del nuevo espesor de la capa granular con el refuerzo incluido como parte integral de la estructura según la ecuación del Número Estructural pero utilizando el coeficiente LCR.

$$\begin{aligned} \text{SN}_r &= a_1 D_1 + a_3 \text{LCR} D_{3r} m^3 \\ D_{3r} &= (\text{SN}_r - a_1 D_1) / (a_3 \text{LCR} m^3) \\ D_{3r} &= (4.7 - 0.30 \times 3.5) / (0.103 \times 1.39 \times 0.80) \\ D_{3r} &= 31.8 \text{ pulg.} \end{aligned}$$

Una vez hallado el nuevo espesor de la capa granular, por la utilización de la geomalla, se calcula el número estructural de la misma.

$$a_3 \times D_{3r} \times m^3 = 0.103 \times 31.8 \times 0.80 = 2.62$$

Como la estructura seguirá manteniendo la misma conformación de materiales de base y subbase, se deben calcular los nuevos espesores de dichas capas en función del número estructural de la capa de subbase obtenido en el paso anterior y con sus coeficientes de capa respectivos.

$$SN_{gr} = a_2 \times D_{2r} \times m_2 + a_3 \times D_{3r} \times m_3$$

$$2.62 = 0.125 \times D_{2r} \times 0.80 + 0.103 \times D_{3r} \times 0.80$$

Debido a que se tienen dos incógnitas y una sola ecuación, se debe realizar un proceso de iteración para obtener unos espesores de capa razonables para la estructura. Para el espesor de la base granular no se recomienda que este valor se encuentre por debajo de los 15 cm o 6 pulgadas. Para la solución del problema, se deja constante el espesor de la base granular, que para este caso se emplea el espesor mínimo recomendado de 15 cm y se despeja de la ecuación el espesor de la subbase granular.

Para nuestro caso, escogeremos un espesor de base asumido $D_{2r} = 25$ cm (9.84 pulg. \approx 10 pulg.).

$$SN_{gr} = a_2 \times D_{2r} \times m_2 + a_3 \times D_{3r} \times m_3$$

$$SN_{gr} = 2.62 = 0.125 \times 10 \times 0.80 + 0.103 \times D_{3r} \times 0.80$$

$$D_{2r} = 9.84 \text{ pulg.} = 25 \text{ cm}$$

$$D_{3r} = 19.67 \text{ pulg.} = 49.96 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

A continuación se verifica el aporte estructural con los nuevos espesores de capa de material granular e inclusión de geomalla.

Para que la estructura sea constructivamente viable, los espesores calculados por lo general son modificados para facilitar su proceso constructivo. Es por eso que se debe verificar que la variación de estos no altere el desempeño de la estructura, por lo que el número estructural de las capas granulares con respecto al número del aporte estructural de la capa reforzada, debe ser en lo posible iguales.

$$0.125 \times 9.84 \times 0.80 + 0.103 \times 19.67 \times 0.80 = 2.61 \text{ OK!!!}$$

Análisis de la disminución de espesor debido a la inclusión de la geomalla biaxial.

Capa	Espesor de Pavimento Tradicional (cm.)	Espesor de Pavimento con Geomalla (cm.)	Disminución de espesor (%)
Carpeta asfáltica	10	10	0
Capa de base	45	25	44,44
Capa de subbase	58,50	50,00	14,53

Tabla 3.2 Análisis de disminución de espesores de capas de pavimento

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE AMBOS DISEÑOS

4.1 COSTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE SIN GEOMALLA

A continuación procedemos al cálculo costo del pavimento por el método tradicional a partir de la sección típica detallada en la figura 4.1

CAPA	ÁREA DE SECCIÓN (m ²)	LONGITUD (m)	VOLUMEN DE MATERIAL (m ³)	COSTO DE MATERIAL (\$/m ³)	COSTO DE TOTAL POR CAPA (\$)
CARPETA ASFÁLTICA	0.6669	700	466.83	74.5	34,778.84
CAPA DE BASE	4.7983	700	3358.81	9	30,229.29
CAPA DE SUBBASE	6.7305	700	4711.35	8	37,690.80
TOTAL					\$ 102,698.93

Tabla 4.1 Costo de pavimento sin la utilización de la geomalla

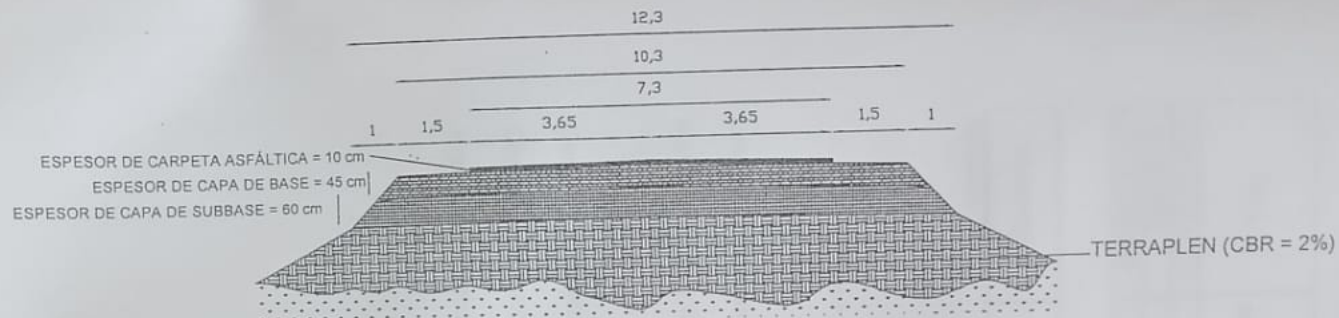


Figura 4.1 Sección típica de pavimento tradicional

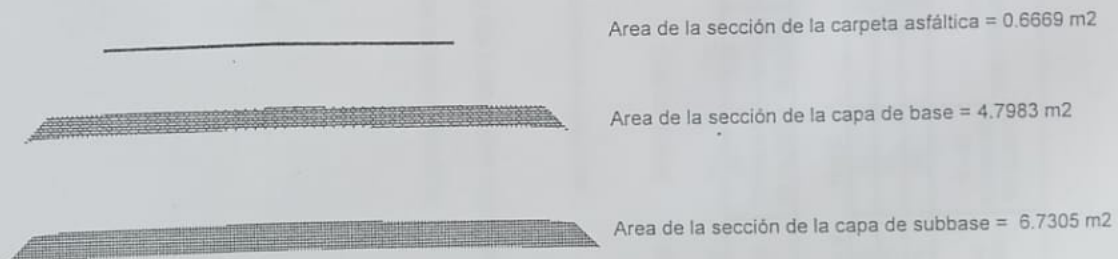


Figura 4.3 Áreas de sección de las capas del pavimento tradicional

4.2 COSTO DE PAVIMENTO UTILIZANDO GEOMALLA

A continuación procedemos al cálculo costo del pavimento por el método tradicional a partir de la sección típica detallada en la figura 4.2

CAPA	ÁREA DE SECCIÓN (m ²)	LONGITUD (m)	VOLUMEN DE MATERIAL (m ³)	COSTO DE MATERIAL (\$/m ³)	COSTO DE TOTAL POR CAPA (\$)
CARPETA ASFÁLTICA	0.6669	700	466.83	74.5	34,778.84
CAPA DE BASE	2.6991	700	1889.37	9	17,004.33
CAPA DE SUBBASE	5.7268	700	4008.76	8	32,070.08
					83,853.25
GEOSINTÉTICO	TIPO	LONGITUD (m)	AREA POR ROLLO	NUMERO DE ROLLOS	COSTO DE ROLLO (\$)
GEOMALLA	BX	700			

Tabla 4.2 Costo de de pavimento con la utilización de la geomalla

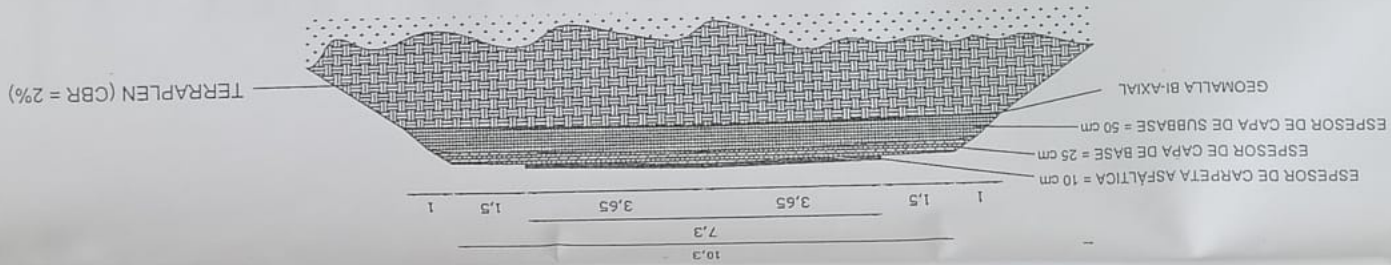


Figura 4.3 Sección típica de pavimento con geomalla

Area de la sección de la carpeta asfáltica = 0.6669 m²

Area de la sección de la capa de base = 2.6991 m²

Area de la sección de la capa de subbase = 5.7268 m²

Figura 4.4 Areas de sección de las capas del pavimento con geomalla



BIBLIOTECA FICT
 ESPOL

CONCLUSIONES:

- La utilización de subrasantes mejoradas con geomallas ocasiona un aumento en la resistencia del pavimento flexible, puesto que aumenta el Número Estructural (SN).
- Un pavimento en el cual interviene la geomalla garantiza ahorro en el material ya que los espesores de las capas del mismo se reducen debido al aporte estructural adicional que provee dicha geomalla.
- La disminución del costo del pavimento se refleja no sólo en el material sino también en la mano de obra y equipo al existir menor uso de maquinaria en la excavación, transporte e instalación de la geomalla.
- El costo – beneficio queda maximizado con esta técnica ya que al existir menor movimiento de tierra significa una reducción del tiempo de transporte, tendido y compactado del material de las capas del pavimento flexible; esto produce un periodo de construcción de pavimento más corto.

RECOMENDACIONES:

- Se recomienda utilizar geomallas mas geotextiles sobre la subrasante para evitar una contaminación entre los materiales de la base con los del terraplén, ya que por la granulometría utilizada en la base se puede lograr dicho material embone perfectamente en la geomalla y el geotextil hace de separador entre la base y el terraplén.
- Se recomienda utilizar sub-base tipo 2 , dado a que su granulometría es la que mejor entraba entre los orificios de la geomalla bidireccional.
- El método utilizando las geomallas tiene óptimos resultados para mejorar subrasantes con CBR menores al 3% ya que con CBR mayores el costo – beneficio ya no es significativo y puede ser ineficiente el uso de la geomalla.

BIBLIOGRAFÍA:

- MINISTERIO DE OBRASPÚBLICAS, MOP-001-f-2002. Tomo1, 387 p
- PIVALTEC S. A, Aplicaciones y diseño con geosintéticos, 2007
- JORGE CORONADO ITURBIDE, Manual para diseño de pavimentos, 2002 disponible en:
www.sieca.org.gt/Publico/Transporte/Manuales/Vulnerabilidad/Manual_normas/