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

Andrés Renato Tapia Diez [1], Fabricio Eduardo Barona Fajardo[2], Luis Rolando Inga Morán [3], Ing. Eduardo Santos Baquerizo, MsC [4]
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra [1] [2] [3] [4]
Escuela Superior Politécnica del Litoral [1] [2])[3] [4]
Km. 30,5 Vía Perimetral, 09-01-5863, Guayaquil-Ecuador [1] [2] [3] [4]
andrestapiadiez@hotmail.com [1], fabriciobarona@hotmail.com [2], luisinga2002@hotmail.com [3], gproano@espol.edu.ec[4]

Resumen

En la presente tesina de seminario de graduación se realiza el diseño de un tramo de la carretera Bajada de Chanduy - Aguas Verdes – Pocito utilizando geomallas que es un geosintético que mejora la capacidad estructural de un pavimento. El tramo comprendido desde la abscisa 2+900 hasta la abscisa 3+600 de esta carretera presenta baja capacidad de soporte por lo que se hace necesario el uso de este material. Se muestra en primer lugar la metodología de diseño por el método AASHTO comparando los espesores de cada capa de pavimento con respecto a los que resultan de la metodología de diseño utilizando la geomalla. Con esto se pretende comprobar las ventajas que ofrecen las geomallas referente a cantidades de material, transporte y tiempo de construcción de una obra, que se traducen en menor costo en comparación con el método de diseño tradicional.

Palabras Claves: *Geomalla, Capacidad Estructural, Método AASHTO*

Abstract

This seminar graduation thesis is based on the design of a piece of the road "Bajada de Chanduy - Aguas Verdes – Pocito" using synthetic net materials that improve the structural capacity of a pavement. The mentioned piece of road starts from the abscissa 2+900 to the 3+600 and presents a low support capacity for which is necessary the use of the geosynthetic net. Primarily it is shown the AASHTO design methodology for pavements in order to compare the design thickness obtained by this procedure and the thickness obtained using the synthetic material. In doing this, we demonstrate the advantages that the synthetic net offers in consideration of material quantities, transportation and construction time which are translated to a cheaper pavement with the same properties of the conventional design.

Key words: *Geosynthetic net, Structural capacity, AASHTO methodology*

1. Introducción

En nuestro trabajo hemos pretendido demostrar de una forma técnica, qué tanto podemos optimizar recursos con el uso de geomallas. 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.

2. Objetivos

Presentar la metodología para diseñar un pavimento flexible utilizando geomallas y demostrar sus ventajas económicas.

3. Campo de acción

En nuestro trabajo abarcaremos generalidades de las geomallas y procedimientos de diseño para pavimentos flexibles aplicados a la carretera Bajada de Chanduy – Pocito – Aguas Verdes entre las abscisas 2+900 y 3+600.

4. 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. .

5. Contenido

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.

1.2 Clasificación de los geosintéticos

1.2.1 Geotextiles

Son materiales flexibles y permeables a los fluidos fabricados de fibras sintéticas como el poliéster o polipropileno.

1.2.2 Geomallas

Son estructuras tridimensionales pero con la característica de ser mono o bi-orientadas fabricadas en polietileno de alta densidad, utilizando un proceso de extrusión.

1.2.3 Geocompuestos

Diseñado uniendo un geotextil no tejido a una geomalla, lo que permite una gran interacción con el suelo reforzado.

1.2.4 Geomembranas

Son láminas poliméricas impermeables fabricados en cloruro de polivinilo (PVC), cuya función es la de revestir canales y además controlan la erosión.

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.

1.3 Introducción a las geomallas

Las geomallas son estructuras bidimensionales elaboradas 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. Este es compactado de manera que se produzca una interacción entre las capas de suelo que rodean la geomalla.

1.3.1 Clasificación

a. Geomallas coextruídas Mono-Orientadas

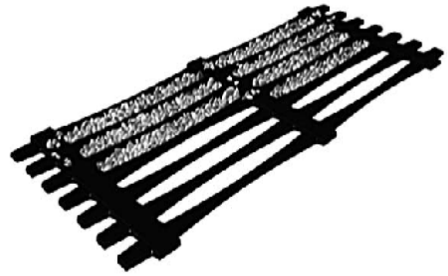


Figura 1.6 Geomalla Coextruída Mono-orientada

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.

b. Geomallas Coextruídas Bi-Orientadas

Figura 1.7 Geomalla Coextruída Bi-orientada

Este tipo de geomallas son estructuras bidimensionales fabricadas de polipropileno, mediante un proceso de extrusión que genera una estructura de distribución uniforme de espacios rectangulares de alta resistencia a la tensión en ambas direcciones.

1.3.2 Proceso de fabricación

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. Luego viene la elongación,

1.3.3 Funciones y aplicaciones

Ciertas aplicaciones de las geomallas coextruídas mono-orientadas son:

- Refuerzo de muros y taludes.
- Refuerzo de terraplenes con taludes pronunciados y diques.
- Estabilización de suelos blandos.

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.

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 determinadas propiedades, algunas de las cuales salen de los ensayos: GRI-GG2-87, ASTM D5732-95, ASTM D5818, ASTM D6637, EPA 9090 de la norma americana.

CAPÍTULO 2
Diseño de una carretera por el método AASHTO

2.1. Componentes estructurales del pavimento

2.1.1. Subrasante

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.

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

2.1.3.Base

Esta capa tiene por finalidad, la de absorber los esfuerzos trasmitidos por las cargas de los vehículos y, además, repartir uniformemente estos esfuerzos a la subbase. Según el MOP-001-F-2002 TOMO I hay 4 tipos de granulometrías para Bases.

2.1.4. Capa de rodadura

Su función primordial será proteger la base impermeabilizando la superficie.

2.2 Método AASHTO para pavimentos flexibles

El método AASHTO introduce conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original de pavimentos en EEUU.

$$\log_{10}(\underbrace{ESAL}_{\text{Ejes equivalentes}}) = \overset{\text{Desviación estándar normal}}{Z_R}\,\overset{\text{Desviación estándar global}}{S_o} + 9{,}36\log_{10}(\overset{\text{Número estructural}}{SN}+1) - 0{,}20 + \frac{\log_{10}\left[\dfrac{\Delta PSI}{4{,}2-1{,}5}\right]}{0{,}40+\dfrac{1094}{(SN+1)^{5{,}19}}}$$

$$+\,2{,}32\log_{10}\underbrace{M_R}_{\text{Módulo de resilencia}} - 8{,}07$$

El modelo de ecuación de diseño está basado en la pérdida del índice de servicialidad (ΔPSI) durante la vida de servicio del pavimento.

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 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

2.2.1 Desviación normal del error estándar so, combinado en la estimación de los parámetros de diseño y el comportamiento del pavimento (modelo de deterioro)

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 = a1 D1 + a2 D2 m2 + a3 D3 m3 + ... + an Dn mn

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

Estos coeficientes están basados en correlaciones obtenidas a partir de la prueba AASHO de 1958-60. Se obtiene a partir de los nomogramas con datos sacados a partir del ensayo AASHO.

2.2.4 Coeficientes de drenaje (mi)

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura de pavimento expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturació			
	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

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

2.2.5 Diferencia entre el índice de servicialidad inicial, *po*, y el índice de servicialidad terminal de diseño, *pt* (δ*psi)*

$\Delta PSI = po - pt$

Servicialidad es la condición de un pavimento para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios en un determinado momento.

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

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

po = 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)

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

MR (psi) = 1500 CBR

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)

Las cargas de los vehículos son transmitidas al pavimento mediante dispositivos de apoyo multiruedas para distribuir la carga total solicitante sobre una superficie mayor. 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.

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:

Table D.1. Axle load equivalency factors for flexible pavements, single axles and p_t of 2.0 (po = 4,2 L2 = 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	.165	.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	15.6
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

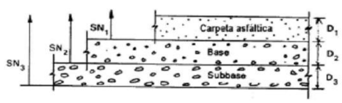
Los resultados AASHTO mostraron que un eje con una carga determinada puede representarse por el número de pasadas de un eje sencillo de 18 kips.
3) Calcular las repeticiones diarias para cada eje = ADT ×% Composición
4) Calcular los ejes equivalentes de 18 kips esperados el primer día de apertura del pavimento, ESAL.
5) Calcular los ejes equivalentes esperados el primer año de uso del pavimento ω18 = ESALo × 365. Realizar los ajustes a causa del número de carriles y la distribución direccional: w18 = DD × DL ×ω18

6) Pronosticar la cantidad de repeticiones del eje equivalente de 18 kips esperados al final del periodo de diseño, *W18= ESAL*:

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

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

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



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

$$SN^*_1 = a_1 D^*_1 \geq SN_1$$

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

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

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

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 la brinda la carpeta asfáltica.
Se resuelve la ecuación de diseño colocando en lugar del MR de la terracería, el valor del EBS. Al resolver la ecuación de diseño se obtiene un D1 * ≥ SN1 / a1

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 ESB. 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.

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.
Tráfico prom. Diario-anual ADT=218 vpd
Tasa de crecimiento medio anual, g = 7%
Periodo de diseño, t = 20 años

Tipo de vehículo	C2	C3	T3-S2	TOTAL
Cantidad	140	70	8	218
% Composición	64%	32%	4%	100%

Estabilidad Marshall (E.T.G. – MOP) = 1000 libras

CBR_{BASE}	= 60%	E_{BS} = 27000 psi
$CBR_{SUBBASE}$	= 25%	E_{SB} = 14000 psi
$CBR_{SUBRASANTE}$	= 2%	M_R = 3000 psi

$Z_R = 0$ para R = 50 (camino rural local)

$S_o = 0{,}45$ recomendado para pavimento flexible

$SN = a_1 D1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$

$a_1 = 0{,}3$ (Figura 00, Estabilidad = 1000 lb)
$a_2 = 0{,}125$ (Figura 2.6, CBR = 60%)
$a_3 = 0{,}103$ (Figura 2.7, CBR = 25%)
$m_2 = m_3 = 0{,}80$ (recomendado)

$\Delta PSI = p_o - p_t = 4{,}2 - 2{,}0 = 2{,}2$

W18 = ESAL= 5084630
Sustituyendo se obtiene un SN = 4,70
SN (supuesto) = 4,0 in *OK!*
Los espesores del pavimento son:

[redacted]

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

3.2 Introducción

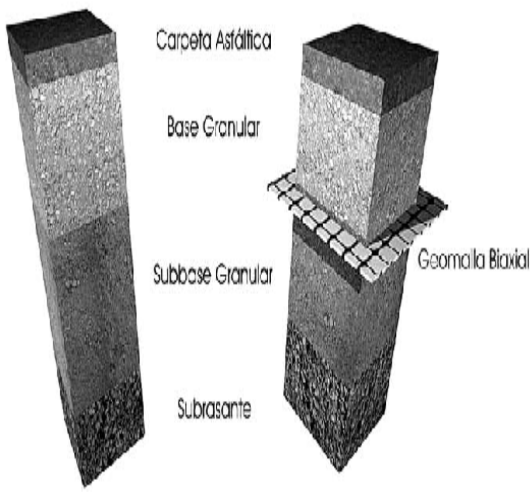


Figura 3.1 Sección típica de estructuras de pavimento asfáltico

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.

3.3 Mecanismos de refuerzo generados por las geomallas

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.

.

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.

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.

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).

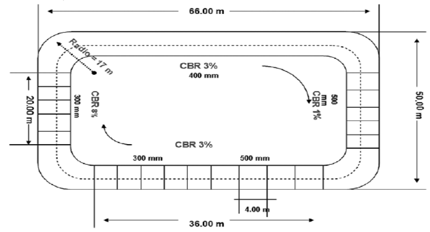


Figura 3.4 Vista en planta de la sección típica de la vía utilizada en el ensayo

En la siguiente figura se listan las curvas de mejoramiento del índice de tráfico provenientes de las geomallas. El TIF para periodos de servicio largos, aumenta de forma considerable los valores de CBR y números estructurales bajos.

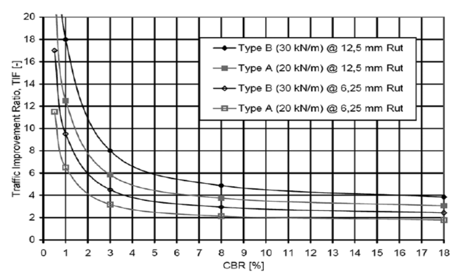


Figura 3.7 Incremento del factor de Tráfico Vs. CBR para dos profundidades de ahuellamiento. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

3.5 Método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles reforzados con geomallas coextruídas

La contribución estructural de una geomalla es el incremento del coeficiente de la capa de la base de la vía.

Por lo anterior, se presenta la ecuación:

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

$$LCR = \frac{SN_r - SN_u}{a_2 D_2} + 1$$

LCR oscila entre 2 a 1.5 dependiendo del CBR de la subrasante, ESAL y profundidad de ahuellamiento de la vía.

Se utilizan las siguientes ecuaciones:

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

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

Usando el siguiente gráfico calculamos el espesor de D2 de la base.

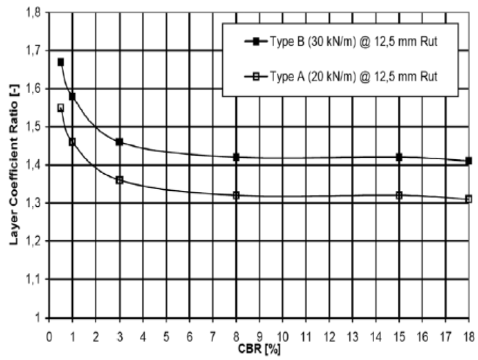
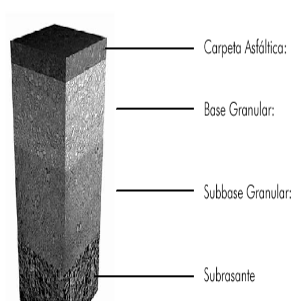


Figura 3.8 LCR vs. CBR de la subrasante. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

3.6 Diseño de pavimento flexible de la carretera bajada de Chanduy – Aguas Verdes – Pocito (absc. 2+900 hasta absc. 3+600) utilizando geomallas

a1: 0.3
e = 3.5" = 10 cm.
a2: 0.125
e = 17.5" = 45 cm.
m2 = 0.80
a3: 0.103
e = 23" = 60 cm.
m3 = 0.80
CBR = 2%



Primero se procede a calcular el número estructural según metodología AASHTO.
Para nuestro caso. SN = 4,7

D 3' = 44.30 pulg ≈ 45 pulg.

Se obtiene de la Figura 3.8 un valor de LCR: = 1.39
Luego se procede como hemos visto en el punto anterior y los espesores quedan:

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 costo de diseños

4.1 Costo de pavimento flexible sin geomalla

[redacted]

TTabla 4.1 Costo de pavimento sin la utilización de la geomalla

4.2 Costo de pavimento utilizando geomalla

[redacted]

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

6. Conclusiones:

- La utilización de subrasantes mejoradas con geomallas ocasiona un aumento en la resistencia del pavimento flexible.
- Un pavimento con geomalla garantiza ahorro en material, mano de obra y equipo al existir menor uso de maquinaria en la excavación, transporte e instalación de la geomalla y de los materiales.
- Hay reducción del tiempo de transporte, tendido y compactado del material.

7. Recomendaciones:

- Utilizar geomallas más geotextiles sobre la subrasante para evitar una contaminación entre los materiales de la base con los del terraplén.
- Utilizar sub-base tipo 2, dado a que su granulometría es la que mejor entraba entre los orificios de la geomalla bidireccional.

- Con CBR mayores a 3% el costo – beneficio puede ser ineficiente el uso de la geomalla.

8. Bibliografía:

a) MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, MOP-001-f-2002. Tomo1, 387 p

b) PIVALTEC S. A, Aplicaciones y diseño con geosintéticos, 2007

c) JORGE CORONADO ITURBIDE ,Manual para diseño de pavimentos, 2002 disponible en: www.sieca.org.gt/Publico/Transporte/Manuales/Vulnerabilidad/Manual_normas/Manual_de_Pavimentos.pdf