



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Adolfo René Fiorini García

Asesorado por el Ing. Carlos Enrique Morales Muñoz

Guatemala, noviembre de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN
DE CARRETERAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR:

ADOLFO RENE FIORINI GARCÍA

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ENRIQUE MORALES MUÑOZ

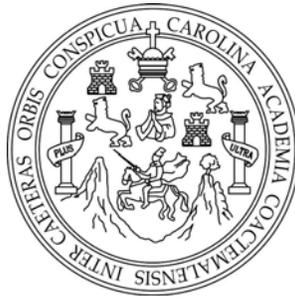
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael Gonzáles Podszuek
EXAMINADOR	Ing. Augusto Rene Pérez Méndez
EXAMINADOR	Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila
EXAMINADOR	Ing. Carlos Leonel Estuardo Suárez Bendfeldt
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier Gonzáles López

Honorable tribunal examinador

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE
CARRETERAS,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
el 22 de mayo de 2000.



Adolfo René Fiorini García

Guatemala de la Asunción
07 de Septiembre de 2007

Ingeniero

JORGE ALEJANDRO AREVALO VALDEZ

COORDINADOR

Area de Topografía y Transportes

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Arévalo:

Por este medio me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he llevado a cabo la revisión del trabajo de graduación del que fui designado Asesor, titulado: **“APLICACIÓN DE GEOSINTETICOS EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS”**, del estudiante universitario Adolfo René Fiorini García. En la revisión respectiva he determinado que éste Trabajo de graduación cumple con el plan de trabajo propuesto y satisface los objetivos planteados, así mismo he realizado las correcciones pertinentes del caso. Por tanto, le doy mi aprobación al contenido del mismo.

Sin otro particular, me suscribo,

Atentamente,



Ing. Civil Carlos Enrique Morales Muñoz

Asesor

Carlos Enrique Morales Muñoz
Ingeniero Civil
Colegiado 2584

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala,
10 de octubre de 2007

Ingeniero
Fernando Amilcar Boiton Velásquez
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

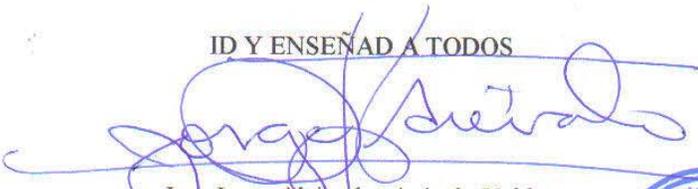
Estimado Ing. Boiton.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Adolfo René Fiorini García, quien contó con la asesoría del Ing. Carlos Enrique Morales.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Jorge Alejandro Arévalo Valdez
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Carlos Enrique Morales Muñoz y del Coordinador del Área de Topografía y Transporte, Ing. Jorge Alejandro Arévalo Valdez, al trabajo de graduación del estudiante Adolfo René Fiorini García titulado APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.




Ing. Fernando Amilcar Boiton Velásquez

Guatemala, octubre 2007.

/bbdeb.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.433.2007

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS**, presentado por el estudiante universitario **Adolfo René Fiorini García**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, noviembre de 2007

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Supremo creador que me ha brindado su ayuda, amor, misericordia, sabiduría y fortaleza durante toda la vida

MI FAMILIA

Piedra fundamental de apoyo para alcanzar cada una de las metas trazadas en la vida.

AMIGOS Y COMPAÑEROS

Por los buenos momentos que nos ha tocado vivir, durante los años de estudio como en el trabajo.

AGRADECIMIENTO A:

- DIOS TODOPODEROSO** Sin sus bendiciones no hubiera podido alcanzar los logros obtenidos en mi vida
- MIS PADRES** Flavio y Domitila, por su amor inmenso y su apoyo constante e incondicional que tuvieron en todo momento.
- MIS HEMANOS** Elvia y Marco Tulio, por su apoyo en todo momento difícil de mi vida.
- A MI ESPOSA** Irma Guadalupe, por su amor y apoyo constante en cada uno de los momentos difíciles, sin el cual no hubiese sido posible alcanzar los logros obtenidos.
- A MIS HIJOS** Dilson Gerardo, Adolfo Fernando y Carlos Emilio, por su paciencia y cariño en todo momento. Gracias por el apoyo que me brindaron.
- ING. CARLOS MORALES** Por su apoyo y asesoría brindada para la realización de este proyecto.
- COMPAÑEROS** Con su apoyo y amistad fue posible culminar con éxito esta etapa de mi vida

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1 ¿QUÉ ES UN MATERIAL GEOSINTETICO?.....	1
1.1 Materiales que lo componen	1
1.2 Especificaciones que poseen.....	1
1.3 Geotextiles.....	1
1.4 Resistencia tensión “GRAB” ASTM 4632,.....	2
1.5 Resistencia desgarre ASTM D4533,.....	2
1.6 Resistencia al punzonamiento ASTMD 4833.....	2
1.7 Resistencia a la tensión por el método de tira ancha ASTMD 4595.	3
1.8 Permittividad ASTMD 4491.....	3
1.9 Tamaño de abertura aparente (AOS) ASTMD 4751.....	3
1.10 Retención del geotextil ASTMD 5101.....	4
1.11 Masa por unidad de área ASTMD 5261.....	4
1.12 Retención de asfalto.....	4
1.13 Supervivencia de geotextiles.....	5
1.14 Geomallas.....	8
1.14.1 Descripción de las geomallas de refuerzo.....	8
1.14.2 Ensayo de tensión (ASTM D 638).....	9
1.14.3 Ensayos de agrietamiento por esfuerzo (ASTM D 1693, D5397).....	10

1.14.4	Resistencia al rasgado (ASTM D 1004).....	10
1.14.5	Contenido de negro de humo (ASTM D 1603).....	11
1.14.6	Ensayo de tensión tridimensional (Multiaxial) (ASTM D 5617).....	11
1.14.7	Transmisividad hidráulica (ASTM D 4716).....	12
1.14.8	Descripción y manejo de los geosintéticos.....	13
1.14.9	Presentación de geosintéticos	15
1.14.10	Durabilidad de este material.....	17
2	CONTROL DE RELLENOS SOBRE AREAS PANTANOSAS.....	19
2.1	Descripción de terreno pantanoso.....	19
2.2	Posibles alternativas para lograr los mejores resultados	19
2.3	Solución por medio de método tradicional.....	19
2.4	Solución.....	22
	2.4.1 Aplicación.....	23
2.5	Función principal del geotextil.....	24
2.6	Función principal de la geomalla.....	24
2.7	Comparación de tiempo y costo.....	29
	2.7.1 Calculo de relleno con roca sobre un área pantanosa	30
	2.7.2 Tiempo de ejecución.....	31
	2.7.3 Estimado de tiempo y costo.....	32
3	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS SATURADOS Y CONSTRUCCIÓN DE TERRAPLENES SOBRE LOS MISMOS.....	37
3.1	Descripción del problema y posibles causas que lo originan	37
3.2	Soluciones tradicionales que se puedan aplicar.....	38
3.3	Aplicación para optimizar soluciones.....	41

3.4	Función de separación (Geotextiles).....	42
3.5	Refuerzo de suelos.....	43
3.6	Aplicación de geomallas bi orientadas.....	44
3.7	Prueba de campo.....	45
3.8	Ejemplo de estabilización de un terraplén para camino en suelos de arcilla muy blanda.....	46
3.8.1	La solución.....	47
3.8.2	Conclusiones.....	49
3.9	Comparación entre soluciones.....	50
4	MEJORAMIENTO DEL VALOR SOPORTE C.B.R. DE SUELOS UTILIZADOS PARA SUBRASANTE	53
4.1	Descripción de valor soporte y subrasante.....	53
4.2	Calculo de C.B.R.....	54
4.2.1	Preparación de la muestra.....	55
4.2.2	Expansión del material.....	56
4.2.3	Resistencia a la penetración.....	56
4.2.4	Conclusiones.....	57
4.3	Capa de subrasante.....	57
4.3.1	Funciones de la capa subrasante.....	58
4.4	Construcción de la capa subrasante.....	59
4.5	Descripción de problema que se quiere resolver.....	60
4.6	En qué casos se debe mejorar las condiciones de los suelos para subrasante.....	61
4.6.1	Mejoras del terreno para subrasante.....	61
4.6.2	Sustitución del terreno.....	62
4.7	Aplicación para el mejoramiento de los suelos para subrasnte.....	63

4.8	Guía básica para el diseño para el mejoramiento de subrasante bajo carga dinámica.....	70
4.9	Parámetros de diseño.....	73
4.10	Criterios para uso de geotextil por debajo de la geomalla.....	78
4.11	Resultados de aplicación.....	81
5.	APLICACIÓN DE GEOSINTETICOS EN UNA BASE.....	95
5.1	Casos donde se hace necesario el mejoramiento de una base.....	95
5.2	Aplicación para darle a la estructura una mayor consistencia.....	98
5.3	Incremento del módulo resistente de la base	100
5.4	Mejoramiento de distribución de carga sobre la subrasante.....	101
5.5	Disminución del estado de carga de subrasante.....	102
5.6	Aplicación para evitar la segregación de la base hacia las capas inferiores.....	104
5.7	Consideraciones de diseño por separación.....	105
5.8	Ejemplo de diseño.....	122
5.9	Utilización al nivel de subrasante como sustituto de la capa de subbase.....	131
5.10	Beneficios que se pueden obtener al mejorar una base utilizando geosinteticos.....	134
5.11	Reducción de espesores de la capa de base granular.....	135
5.12	Aplicación para darle una mayor vida útil a una carretera.....	136
5.13	Aplicación de geomallas.....	144
5.14	Ejemplo de cálculo del aumento de la vida útil de una carretera utilizando geomallas como refuerzo	146
6.	EJEMPLOS DE APLICACIONES DIVERSAS DE GEOSINTETICOS EN CARRETERAS.....	149

6.1	Refuerzo para base de pavimento.....	149
6.2	Ejemplo de colocación de materiales.....	154
6.3	Aplicación en Guatemala.....	158
6.4	Refuerzo de base de carretera U' ZULIA – VENEZUELA	166
	CONCLUSIONES.....	171
	RECOMENDACIONES.....	177
	BIBLIOGRAFÍA.....	181
	APÉNDICE.....	183

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diferentes tipos de Geotextiles.....	15
2.	Colocación de Geosinteticos sobre un terreno conformado.....	16
3	Geomallas Mono Orientadas	16
4.	Geomallas Bi Orientadas.....	16
5.	Colocación de Geomalla sobre área pantanosa	25
6.	Colocación Sobre Pantano	27
7.	Colocación de Geosintetico en Pantano.....	27
8.	Costo de Relleno en Roca	32
9.	Cálculo de costo de terraplén aplicando Geosinteticos.....	35
10.	Posibles deformaciones de Subrasantes al aplicárseles una carga..	40
11.	Facilidad para la instalación de la Geomallas de Refuerzo.....	45
12.	Comparación de Reducción de Espesores de Base.....	46
13.	Terraplén sobre suelo blando con refuerzo de geomalla.....	52
14.	Relleno No Reforzado.....	78
15.	Relleno Reforzado.....	78
16.	Los rollos de las geomallas pueden ser de 100.0 m de largo.....	83
17.	Fácil de desenrollar y traslapar cuando se instala la geomalla.....	84
18.	Las Geomallas están diseñadas para trabajar con el trabe de partículas en material friccionante y no sufren daños durante la colocación.....	84
19.	Área Anegada de Agua.....	85
20.	Geosintetico Instalado en Área de Trabajo.....	86

21.	Geosintetico Instalado.....	87
22.	Geosintetico Instalado sobre subrasante.....	88
23.	Esquema de cómo trabaja la Geomalla.....	88
24.	Deformaciones de Subrasante.....	90
25.	Geomalla instalada en terraplén.....	91
26.	Distribución de Geosintetico en la Base.....	92
27.	Comparación de Deformaciones.....	92
28.	Comparación de espesores de Pavimento.....	93
29.	Comparación de igual espesor con y sin refuerzo.....	93
30.	Confinamiento de las Partículas.....	99
31.	Deformación permanente en Base y Subrasante.....	100
32.	Incremento del Módulo Resistente.....	101
33.	Distribución de presiones Verticales.....	102
34.	Efecto Membrana.....	103
35.	Sección transversal de pavimento, sin y con geosintetico.....	105
36.	Geotextil de separación – Resistencia al estallido.....	109
37.	Resistencia al estallido (Burst) Carta de diseño (F _{Sg} =2.0; F _{Sp} =1.5).	111
38.	Presión Vrs. Resistencia a estallido (Burst) según el tamaño del agregado.	112
39.	Geotextil de separación – Resistencia a la tensión (Grab.).....	113
40.	Punzonamiento causado por una partícula sobre el geotextil.....	115
41.	Resistencia al Punzonamiento, Carta de diseño (F _{Sg} =2.0; F _{Sp} =1.5)..	118
42.	Resistencia al Punzonamiento Carta de diseño (F _{Sg} =2.0; F _{Sp} =2.0).	119
43.	Traslapes recomendados.....	122
44.	Estructura de pavimento sin y con refuerzo.....	123
45.	Colocación de material sobre Geosintetico.....	134
46.	Respuesta a la fatiga de la capa de repavimentación asfáltica.....	141
47.	Modelo utilizado por la Universidad de Delft para el análisis de elementos finitos de una estructura vial.....	145
48.	Aumento de la Vida Útil.....	146

49.	Distribución de refuerzo en estructura de Pavimento.....	147
50.	Curva para $r = 0.15$ m y $F_u = 80.0$ kN.....	151
51.	Distribución de las Presiones.....	152
52.	Diseño final Pavimento con Refuerzo.....	154
53.	Colocación de Base granular sobre Geomalla.....	154
54.	Colocación de Base Granular.....	155
55.	Aplicación Material de Base sobre Geosintetico.....	155
56.	Geosintetico aplicado en subrasante.....	159
57.	Aplicación de material de préstamo sobre Geotextil.....	160
58.	Compactación de material de préstamo sobre Geotextil.....	160
59.	Proyecto concluido y en funcionamiento.....	162
60.	Área antes de inicio de trabajos.....	167
61.	Obreros cociendo el Geotextil.....	168
62.	Colocación de material sobre Geosintetico.....	168
63.	Estructura de Pavimento Diseñada.....	169
64.	Carretera en condiciones para entrar en servicio.....	170
65.	Geotextil no tejido Marca Bidim.....	187
66.	Geotextil no tejido (AMANCO).....	188

TABLAS

I.	Requerimientos para las propiedades de resistencia de los Geotextiles....	6
II.	Aplicación de Geotextil.....	7
III	Equipo mínimo obtención de roca en cantera.....	22
IV.	Propiedades de Geotextiles.....	28
V.	Resistencia Mecánica.....	29
VI.	Características Físicas.....	29
VII.	Aspecto de diseño para la geomalla.....	48
VIII	Fuerza de diseño a largo plazo durante 1 año de carga constante	

	continua A 20 grados C. De la geomalla Tenax LBO 302 SAMP.....	48
IX	Características medidas por el control de Calidad en el lote completo de la producción de la Geomalla.....	49
X.	Penetración / carga Unitaria.....	54
XI.	Propiedades de Geomalla.....	69
XII.	Correlación de valores de Resistencia al corte de Suelos Cohesivos....	81
XIII	Valores de Coeficientes N_e y N_q para determinar Capacidad Portante en Suelos No Cohesivos.....	81
XIV.	Factores de Seguridad para función de separación.....	109
XV.	Valores de $f(\epsilon)$	114
XVI.	Valores de A_p / A_c	116
XVII.	Propiedades de Geotextiles No Tejidos.....	124
XVIII.	Datos de Proyecto.....	127
XIX.	Propiedades de Geotextiles Tejidos.....	128
XX.	Resumen caso 2.....	131
XXI.	Propiedades de Geotextil No Tejidos.....	158
XXII.	Características y especificaciones mínimas de la geomalla biaxial para Refuerzo estructural.....	183
XXIII.	Especificaciones Geomallas biaxiales Tensar.....	184
XXIV.	Propiedades Geomallas Tensar.....	185
XXV.	Propiedades Geomallas Biaxial Tensar.....	186
XXVI.	Características Geomalla Tenax LBO 302 SAMP.....	187

RESUMEN

Los geosintéticos son materiales innovadores en la industria de la construcción, aplicados en las vías terrestres pueden llegar a ayudar en la solución de diferentes tipos de problemas, existe una gran variedad de ellos entre los cuales podemos mencionar los de mayor uso en construcción de carreteras:

- Geotextil no tejido utilizado para separación y drenaje
- Geotextil tejido para refuerzo de subrasante y base
- Geomalla uniaxial (un sentido) para refuerzo de talud y base
- Geomalla Biaxial (dos sentidos) para refuerzo de subrasante y base.

En las áreas en donde se tiene problemas de suelos muy blandos se puede hacer uso de diferentes geosintéticos, los cuales producen excelentes resultados, logrando reducir en una buena cantidad la utilización de material de préstamo, al ser utilizados para estabilización de subrasante de una forma efectiva. Al instalar una combinación de Geomalla con Geotextil, se obtienen los resultados que se necesitan reduciendo grandemente los tiempos de ejecución y ahorro de recursos tanto en explotación como acarreo de materiales externos.

Con la instalación de Geomalla y Geotextil se obtiene lo que se necesita en una carretera que es refuerzo y mayor tiempo de vida, al reducir la contaminación de la base, con los materiales finos que puede tener la subrasante.

El mejoramiento del Valor Soporte (CBR) en un suelo que es muy débil, se puede lograr con la instalación de Geosintéticos, los cuales al ser instalados a nivel de subrasante logran que esta sea confinada, ya que todas las cargas

aplicadas en la capa de rodadura son distribuidas hacia la subrasante que es la encargada de soportarlas, sin sufrir ningún tipo de deflexión, el cual se ve reflejado en la capa de rodadura. Con se debe mejorar el CBR cuando el valor de este sea menor de 3.0%, el cual lo convierte en un suelo que no apto para soportar cargas que le serán requeridas, en el tiempo de vida útil.

Para el mejoramiento de una estructura de pavimento, específicamente la base, se puede lograr aplicando un refuerzo de geosintético, el cual al ser aplicado le puede dar una mayor consistencia y le incrementa el modulo resistente de la base al llegar a darle una mayor consistencia, al evitar la segregación de los materiales que componen la base. Al utilizar una combinación de Geomalla y Geotextil como separación y refuerzo a nivel de subrasante se logra sustituir la capa de Sub base, manteniendo o incrementado el numero estructural de la carretera.

La reducción de espesores de la capa de sub base y base, se obtiene al aplicar el geosintético el cual logra cubrir la reducción de espesores, al soportar una mayor cantidad de esfuerzos cortantes, muy superiores al suelo natural, incrementando los valores que le son requeridos para soportar las cargas previstas. Lo que hace que su trabajo lo realice con gran eficiencia y seguridad.

Al mantener por un mayor lapso de tiempo el confinamiento de los agregados de la base, se tiene que los materiales migren hacia las capas inferiores, y la estructura mantenga las características originales, dando como resultado un incremento de la vida útil del Pavimento al soportar cargas mayores.

En Guatemala la utilización de Geosintéticos para refuerzo ha sido muy limitada, casi en la mayoría de usos se da en las áreas de subdrenajes y como separación de las capas superiores con la subrasante, lo cual permite que exista drenaje y limitación de la contaminación entre ambos. En el caso de aplicación de

Geotextil no tejido en la construcción de Paso a Desnivel de Puerto Quetzal, se utilizo como separación a nivel de subrasante, colocando material de préstamo, con una altura promedio de 2.00 metros, cumpliendo a cabalidad el trabajo para el cual fue diseñado. En general existen una gran cantidad de aplicaciones que se le pueden dar a los Geosintéticos, obteniendo muy buenos resultados.

OBJETIVOS

❖ **General**

Analizar la utilización de los Geosintéticos en la construcción de carreteras, y conocer los diferentes tipos de materiales que existen en el mercado, y los diferentes usos que se pueden aplicar a los problemas que generalmente se presentan en la construcción de carreteras.

Específicos

1. Conocer que son los Geosintéticos, tanto en tipo como la variedad de productos que existen en el mercado nacional.
2. Diferentes aplicaciones que pueden tener los Geosintéticos y determinar cual puede ser el de mayor conveniencia para la solución de un problema determinado, considerando que cada geosintético tiene sus propiedades particulares y diferente aplicación.
3. Beneficios que se pueden obtener con el uso racional de los Geosintéticos, tomando en cuenta que son solo una herramienta en la construcción de una carretera.
4. Determinar qué material Geosintético se debe utilizar, tanto para refuerzo de una carretera, como que se puede utilizar para las funciones de sub drenajes y separación de materiales.

5. Incorporar los fundamentos básicos para el uso racional de los Geosintéticos en los diseños de las carreteras, para obtener la mayor cantidad de beneficios, y así poder proyectar carreteras con una mayor vida útil.

6. Que la mayor cantidad de profesionales de la Ingeniería conozcan estos productos que son ampliamente utilizados en otros países, tanto de América Latina como en Estados Unidos y Europa.

INTRODUCCIÓN

Desde el momento en que surgió la necesidad de tener caminos en buenas condiciones se han buscado materiales que proporcionen la resistencia necesaria al suelo para soportar repeticiones de cargas y otros fenómenos como la oposición a la penetración del agua, la contaminación de materiales a través de la migración de finos a las capas granulares, obteniéndose así una mayor durabilidad de la estructura del pavimento.

Es por lo que se ha derivado, dentro de ciertos límites, hacia el uso de materiales a base de polímeros, poliéster etc., (Geosintéticos), como complemento y alternativa de los materiales naturales.

Otra de las causas en la búsqueda de nuevos materiales, es el crecimiento del transporte pesado y sus cargas, que son cada vez mayores, los que constituyen las causas del deterioro de muchas carreteras; por lo que surge la intervención de nuevas tecnologías de pavimentos que simplifiquen los procedimientos constructivos y que garanticen una mayor vida útil. Es por eso que en este estudio se presentan materiales alternativos a los tradicionales para la construcción de estructuras de pavimentos. Su principal característica es que se trata de materiales GEOSINTÉTICOS.

Los geosintéticos son productos obtenidos a partir de fibras poliméricas termoplásticas entre otras, son fundamentales en el campo de las aplicaciones geotécnicas dadas las diversas funciones que cumplen simultáneamente. Su campo de aplicación viene determinado tanto por las características físico-

mecánicas (separación, refuerzo y protección) como las hidráulicas (filtración y drenaje), características que sirven para dimensionar y seleccionar el tipo a utilizar.

Como ventajas principales de los geosintéticos se destacan:

- Durabilidad – por emplear fibras sintéticas en su producción, resisten la acción del tiempo y los agentes agresivos naturales.
- Ductilidad – se adaptan a innumerables usos, en sus distintas formas y funciones.
- Resistencia – por tratarse de fibras de alta tenacidad, presentan altos valores de resistencia a esfuerzos (tracción, desgarramiento, punzonado, etc.)
- Trabajabilidad – constituyen materiales livianos, flexibles y de fácil instalación.

También, en caso de suelos naturales muy débiles, la colocación de Geosintéticos produce una distribución de cargas tal que maximiza la capacidad portante de la subrasante, permitiendo un fácil acceso y construcción de plataformas de trabajo sin necesidad de recurrir a los onerosos métodos tradicionales (reemplazo del suelo, estabilización química, etc.).

Los geosintéticos contribuyen a lograr un mejor aprovechamiento de los suelos, al poderse construir taludes de pendientes más pronunciadas. Otra virtud es la posibilidad de construir en lugares valiosos por su estética o posición geográfica, pero de difícil aplicación. Debido a su durabilidad son ideales para ser utilizados en proyectos de carreteras, puentes o vías férreas, en los cuales la vida útil

prevista supera las posibilidades de los materiales naturales usados tradicionalmente para refuerzo, separación y drenaje. También se destaca la posibilidad de lograr soluciones eficaces con un mínimo impacto ambiental que es de vital importancia hoy en día.

El concepto de reforzar suelos ha permanecido vigente ante las crecientes necesidades de la humanidad, tanto que en 1926 se dio el primer intento de uso de fibras sintéticas en el refuerzo de una estructura de pavimentación. El propulsor de dicho experimento fue el Departamento de Vías de Carolina del Sur en Estados Unidos (Koerner, 1997). El ensayo consistió en disponer una gruesa capa de algodón sobre la capa de base del pavimento flexible para luego verter asfalto caliente sobre la fibra y protegerlo con una delgada capa de arena. Los resultados del experimento fueron publicados en 1935, mostrando una reducción de las fallas localizadas y el agrietamiento en la estructura y buenas condiciones de servicio antes de que la fibra se deteriorara completamente. Este proyecto demostró la relevancia de usar cuerpos ajenos al material, que cumplan las funciones de mejoramiento del material natural propias de las fibras sintéticas que conocemos hoy en día.

El desempeño general de los geosintéticos puede permitir proveer soluciones eficientes a la ingeniería en diversas escalas. Su amplio uso se ha alcanzado debido a las ventajas comparativas frente a otros métodos de mejoramiento de condiciones in-situ dentro de las cuales se destacan: a) un mejor desempeño de la función específica: por su estricto control de calidad y desarrollo tecnológico están calificados en el cumplimiento para diversas funciones específicas y b) economía en su uso: ya sea por menor inversión inicial (posibilita la reducción de los espesores necesarios para las distintas capas estructurales, reduciendo notablemente los movimientos de suelos y muchas veces evitando la necesidad

de importación de rellenos de características especiales) o por el incremento de la vida útil del pavimento (con el consiguiente ahorro en costos de mantenimiento).

En este trabajo se presentan diferentes tipos de aplicaciones que se pueden dar a los geosintéticos (separación de materiales, refuerzo y drenaje), existen una mayor cantidad de usos que se le pueden dar en una carretera, los cuales se tienen que estudiar en el futuro para que se utilicen correctamente y para que en nuestro país su utilización sea de una manera técnica para cada caso en especial.

1 ¿QUÉ ES UN MATERIAL GEOSINTÉTICO?

1.1 Materiales que lo componen

El término GEOSINTÉTICO es usado para describir un grupo de materiales que incluyen entre otros, geotextiles, geomallas, georedes, geomembranas y geosintéticos selladores de arcilla. La materia prima utilizada para la elaboración de los diferentes geosintéticos es: Polipropileno, Polietileno, Poliamida, Nylon, etc.

1.2 Especificaciones que poseen

Debido a la gran cantidad de productos que existen en el mercado, a cada uno de ellos se le realizan todo tipo de ensayos de laboratorio debidamente normados (ASTM, ISO, GRI) para constatar su calidad, y diferentes características, a fin de ser aplicado en diferentes situaciones. Los diferentes ensayos a los que son sometidos y sus propiedades de mayor utilidad para la elección del material adecuado se presentan a continuación:

1.3 Geotextiles

Los Geotextiles son calificados basándose en el polímero y a su estructura. Los más comunes son los que están fabricados a partir de polipropileno, Geotextiles de nylon son ocasionalmente usados, pero su falta de durabilidad requiere de aplicaciones permanentes. Las dos estructuras de los Geotextiles son tejido y no-tejido. La principal distinción entre los tipos de tejido de geotextil es el tipo de filamento usado. Ensayos estandarizados de las propiedades de los geotextiles han evolucionado en un periodo relativamente corto de tiempo, reflejando el aumento de calidad de los materiales usados. Existen actualmente suficiente número de ensayos ASTM disponibles con los cuales se pueden asegurar las

propiedades de los geotextiles considerados importantes para diseño en transportación, los cuales a continuación tienen una breve descripción.

1.4 Resistencia a la tensión “GRAB” ASTM 4632,

Este índice de ensayo es diseñado para medir la carga de ruptura y elongación de los geotextiles usando el método GRAB el cual consiste en la determinación de estos parámetros en una fracción del ancho del espécimen. Una muestra que mide 4 por 8 pulgadas es asegurada en los extremos del aparato de medir tensión en una porción de 1” por 2” en ambos extremos. La resistencia a la tensión de la muestra en la dirección a lo largo de los ejes es medida durante una constante deformación de aproximadamente 12 pulg./min. El valor de la carga de rotura es reportado en unidades de libras o newton y la elongación en porcentaje.

1.5 Resistencia desgarre ASTM D4533,

El índice de este ensayo es designado para medir la fuerza requerida para propagar un desgarre en un geotextil por el método de rasgado trapecoidal. Para realizar este ensayo, una muestra de geotextil es cortado a la forma de trapecoide y un pequeño corte se realiza para representar un desgarre en el geotextil, los lados no paralelos de una de las muestras son asegurados en los extremos del equipo de ensayo de tensión, la fuerza máxima requerida para propagar un desgarre desde el corte es medida, el resultado es registrado en unidades de libras o newton.

1.6 Resistencia al punzonamiento ASTM D 4833

Este índice de ensayo es realizado para medir la resistencia a la punción de geotextiles y geomembranas. En este ensayo la muestra es asegurada sin tensión entre placas circulares, una delgada barra es entonces forzada a

través del material y la resistencia a la punción es medida. Este valor es registrado en unidades de libras o newton.

1.7 Resistencia a la tensión por el método de tira ancha ASTM D 4595

Este es un ensayo de comportamiento en el cual la resistencia a la tensión por unidad de la muestra es determinada, es realizada igual que el ensayo a la tensión Grab con la diferencia que la muestra es 8" de ancho y la obtención de los parámetros indicados es a todo el ancho del espécimen. Los valores medidos del ensayo son reportados en unidades de libras por pie o kilonewtons por metro, mediciones son a menudo registrados en deformaciones de 2.5 y 10 por ciento.

1.8 Permeabilidad ASTM D 4491

Este ensayo es aproximadamente equivalente al empleado para medir la permeabilidad de los suelos, sin embargo en lugar de medir las propiedades hidráulicas del suelo, el medio del ensayo es un geotextil. Ambos el de carga variable y carga constante pueden ser realizados. El ensayo no permite la medida directa de la permeabilidad del geotextil, en su lugar, la permitividad es medida, y es relacionada a la permeabilidad por la siguiente ecuación:

$$y = k/t$$

y = Permitividad del geotextil

k = Permeabilidad del geotextil (pulg/seg o cm/seg)

t = Espesor del geotextil (pulg. o cm.)

1.9 Tamaño de abertura aparente (AOS) ASTM D 4751

El tamaño aparente de abertura en un geotextil refleja la mayor dimensión disponible a través del cual puede pasar el suelo, se realiza usando el mismo tipo de cedazos usado para realizar el análisis granulométrico. La

muestra de geotextil se asegura en un marco de tamiz y sobre él se colocan unas partículas de cristal graduadas, (Glass Bead), se agita enérgicamente para inducir el paso de las partículas a través del geotextil. El tamaño de apertura aparente (AOS) corresponde al tamaño del tamiz por el cual no pasa más del 5% a través del geotextil, el tamaño de las partículas es reportado en los números de los tamices estándar U.S. en pulgadas o milímetros.

1.10 Retención del geotextil ASTMD 5101

Este ensayo es usado para indicar el potencial de retención de un sitio específico en el suelo con un geotextil, se requiere el uso de un permeámetro y el paso del agua a través del sistema suelo – geotextil bajo diferentes cargas hidráulicas, mediciones de cargas hidráulicas a varias alturas dentro de la columna del permeámetro son tomadas para determinar los gradientes hidráulicos. Los gradientes hidráulicos son comparados para establecer un cociente gradiente. Se sugiere que un cociente gradiente > 3 indica sistema suelo – geotextil inaceptable.

1.11 Masa por unidad de área ASTMD 5261

Este índice de ensayo es realizado para determinar si los geotextiles cumplen con las especificaciones de masa por unidad de área. Es frecuentemente usado como control de calidad para determinar el comportamiento del geotextil. La masa por unidad de área es determinada por el peso de las muestras de conocidas dimensiones, cortadas de varias localizaciones de los geotextiles usados. Los valores calculados son promediados para obtener un valor promedio de unidad de masa por unidad de área de la muestra, el valor es reportado en onzas/yd² o gr/mt².

1.12 Retención de asfalto

El ensayo ASTM D - 6140 de retención de asfalto para tejidos de pavimentación en este procedimiento, una masa de un tejido para pavimentación es medida, después la muestra se sumerge en el cemento

asfáltico removido y secado. La capacidad de retención del cemento asfáltico es determinada por la comparación de la masa de la muestra antes y después de sumergido. La retención de asfalto es reportada en unidades de gl/yd^2 o lt/mt^2 .

1.13 Supervivencia de geotextiles

El termino “supervivencia de Geotextiles” se refiere a la habilidad del tejido de soportar los esfuerzos de instalación asociado con una aplicación particular y comportarse como fueron proyectado en el diseño. Por ejemplo en la aplicación de estabilización de carreteras, el geotextil es instalado sobre suelo débil, dependiendo de las condiciones existentes y los requerimientos del proyecto, la subrasante puede que no esté limpia o compactada, después de la instalación, grava granular es colocada, regada y compactada en el tejido. Durante el proceso hay o existen numerosas oportunidades para punzonar, romper y dañar el geotextil.

Observando el criterio de supervivencia, el diseñador tiene alguna seguridad de que el geotextil funcionara como se proyecto su utilización. En 2,005, AASHTO publicaron un set de criterios de supervivencia, designado como AASHTO M 288-05 la guía prescribe cuatro ensayos para asegurar la resistencia de un geotextil y su habilidad a sobrevivir los esfuerzos de instalación como se muestra en la tabla No. 1, geotextiles clase 1, cumplen con los más estrictos requisitos y los geotextiles clase 3 cumplen con los requisitos de criterio mínimos.

Como puede ser visto los requerimientos de resistencia de los geotextiles depende de su elongación durante el ensayo de tensión (Grab Tensile Test). Si el tejido se elonga menos del 50% antes de la falla, es requerido para cumplir con un alto valor de resistencia. Comparado con un geotextil cuya elongación es mayor que el 50%. Esta distinción es hecha porque tejidos con alta – deformación es mas resistente al daño de instalación que tejidos

de baja – deformación. Típicamente geotextiles tejido se deforman menos que el 50% durante el ensayo de tensión “Grab”, los geotextiles no tejidos son elongados más del 50%.

Tabla I Requerimientos para las propiedades de resistencia de los geotextiles

			Clase de Geotextil ^{(1),(2)}					
			Clase 1		Clase 2		Clase 3	
	Método de Ensayo	Unidades	Elongación < 50% ⁽⁴⁾	Elongación > 50% ⁽⁴⁾	Elongación < 50% ⁽⁴⁾	Elongación > 50% ⁽⁴⁾	Elongación < 50% ⁽⁴⁾	Elongación > 50% ⁽⁴⁾
Resistencia Grab.	ASTM D 4632	N	1400	900	1100	700	800	500
Resistencia de la Costura ⁽⁴⁾	ASTM D 4632	N	1260	810	990	630	720	450
Resistencia al Rasgado	ASTM D 4533	N	500	350	400 ⁽⁶⁾	250	300	180
Resistencia al Punzonado	ASTM D 6241	N	2750	1925	2200	1375	1650	990
Permisividad	ASTM D 4491	s ⁻¹	Los valores mínimos de las propiedades para la Permisividad, TAA y Estabilidad UV están basados en la aplicación para el geotextil.					
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D 4751	Mm						
Estabilidad Ultravioleta	ASTM D 4355	%						

(1) La clase requerida de geotextil esta designada en las Tablas 2, 3, 4, 5 ó 6, para las aplicaciones indicadas. La severidad de las condiciones de instalación para la aplicación generalmente requiere una clase de geotextil. Clase 1 esta especificada para las condiciones de instalación más severa, donde existe un gran potencial de daño del geotextil, y clases 2 y 3, son especificadas para condiciones menos severas.

(2) Todos los valores numéricos representan el VMPR (Valor Mínimo Promedio por Rollo), en la dirección más débil.

(3) Medido de acuerdo al ASTM D4632.

(4) Cuando juntas cosidas son requeridas, referirse al Apéndice para requerimientos para traslapos cosidos.

(5) El VMPR requerido para resistencia al Rasgado Trapezoidal, para geotextiles tejidos de monofilamentos, es de 250 Newton.

La clase de geotextil requerido en un proyecto es dependiente de la aplicación específica. AASHTO M 288 – 05 provee la guía de cuatro aplicaciones generales:

Drenaje sub superficial

Separación

Estabilización

Control permanente de erosión

La clase de geotextil para cada aplicación se muestra en la tabla II

Tabla II Aplicación de geotextil

APLICACIÓN	CLASE DE GEOTEXTIL
Drenaje subsuperficial	2
Separación	2
Estabilización	2 para monofilamento tejido
Control erosión permanente	1 para todos lo demás

Para cada aplicación el ingeniero puede especificar propiedades de supervivencia de la menor clase de geotextil basada en datos de laboratorio o en la experiencia, similarmente si las condiciones de un proyecto pueden resultar en un menor esfuerzo de instalación que los normales, un geotextil con menor resistencia puede ser especificado.

1.14 Geomallas

1.14.1 Descripción de las geomallas de refuerzo

Es una estructura manufacturada en forma plana, conformando una red regular con todos sus elementos conectados de forma integrada, ya sea por extrusión, soldadura o tejido, cuyas aberturas son usualmente mayores que los componentes del suelo natural y son usadas en aplicaciones como geotecnia, protección ambiental, hidráulica e ingeniería vial. Las geomallas más eficientes para refuerzo de bases son las de tipo tejido, constituidas por multifilamentos continuos de poliéster, entrecruzados entre sí formando una trama abierta, plana y regular, recubiertos para este uso específico por material bituminoso.

Las geomallas de refuerzo pueden estar recubiertas por un material bituminoso para garantizar su adherencia a las capas de asfalto. Además, la estructura de malla tiene un área abierta de al menos un 75% de su superficie. Esta adherencia permite que la geomalla de refuerzo absorba y distribuya las tensiones que se generan.

Sus principales ventajas son:

Gran flexibilidad facilita su extensión sobre el pavimento sin peligro de tensiones parásitas que las tienda a "auto-enrollar"

Espesor homogéneo permite un apoyo continuo sobre la emulsión y con ello una mayor adherencia entre la nueva capa y el pavimento existente.

Estabilidad dimensional permite que las sollicitaciones térmicas no la deformen

sus propiedades mecánicas son compatibles con la del asfalto

Adherencia con las mezclas asfálticas es óptima

Gran resistencia a la fatiga permite mantener sus propiedades mecánicas originales bajo la acción de cargas cíclicas

Escasa fluencia permite que sus deformaciones bajo carga constante y su resistencia se mantengan invariables en el tiempo.

Su principal aplicación es para aquellos pavimentos que estarán sometidos a cambios bruscos de temperatura durante el día.

Estas propiedades las diferencian de otros tipos de geomallas:

Las geomallas de polietileno o polipropileno sufren los efectos negativos de las altas temperaturas del asfalto (el punto de fusión de estos polímeros es inferior a la temperatura de puesta en obra del asfalto). Sin embargo en otras aplicaciones con el suelo, su desempeño es muy significativo.

Otras geomallas de poliéster utilizadas no presentan un recubrimiento bituminoso y la adherencia con el asfalto es escasa y muy peligrosa.

Las geomallas de fibra de vidrio tienen un módulo elástico muy superior al del asfalto, con lo que las deformaciones de ambos materiales son muy diferentes y por ello, la adherencia entre ellos es muy baja. Las geomallas de fibra de vidrio muestran un pésimo comportamiento ante las cargas dinámicas generadas por el tráfico.

1.14.2 Ensayo de tensión (ASTM D 638)

La resistencia a la tensión de un material es un indicativo de la cantidad de esfuerzo en tensión, que el material puede soportar antes de fallar. El método de ensayo especificado aquí utiliza un espécimen con forma de “pesa de gimnasia” (con una pesa en el extremo) y proporciona información sobre las propiedades de tensión del material: resistencia a la fluencia, resistencia a la rotura, elongación en fluencia y elongación en la rotura.

En el ensayo, el espécimen está unido a una mordaza fija y a una mordaza móvil de una máquina universal de ensayo a tensión. Un indicador de carga proporciona la carga de tensión (esfuerzo) experimentada por el espécimen así como la distancia recorrida (deformación).

1.14.3 Ensayos de agrietamiento por esfuerzo (ASTM D1693, D5397)

Estos ensayos determinan la resistencia de la geomembrana (geomalla) al agrietamiento por esfuerzo ambiental. Una grieta de esfuerzo es una fractura frágil en el plástico causada por los esfuerzos de tensión, que son inferiores a la resistencia a la fluencia en tensión del material, aplicados durante largos periodos de tiempo.

Cuando se usa la ASTM D 1693, los especímenes son ranurados, doblados y colocados en las agarraderas. Las agarraderas son sumergidas en una solución surfactante mantenida a una temperatura elevada. Los especímenes son monitoreados a intervalos de tiempo específicos para determinar si se forma alguna grieta alrededor de la ranura monitoreada. Se considera que el material para la prueba si no aparece ninguna grieta después de la de tiempo especificada.

Similarmente, cuando se usa la ASTM D 5397, se coloca un espécimen ranurado, con forma de pesa de gimnasia (con una pesa en el extremo) a tensión constante en una solución similar a una temperatura elevada. Este es un ensayo más agresivo que el D 1693. Se considera que el material pasa si no ocurre ninguna grieta antes de 200 horas de exposición cuando se somete al 30% de la resistencia a la fluencia del material.

1.14.4 Resistencia al rasgado (ASTM D 1004)

El ensayo de resistencia al rasgado mide la fuerza requerida para el inicial rasgado. La geometría del espécimen es tal que cuando se hala en tensión, hay una concentración de esfuerzos en el espécimen. El resultado del ensayo es determinado como el punto cuando se desarrolla la máxima carga de tensión. Similarmente, el ensayo de punzonamiento mide la resistencia del material al punzonamiento. Una sonda con una geometría

estandarizada en la punta es forzada a través del espécimen de geomembrana a una tasa fija. El resultado del ensayo es la fuerza requerida para punzonar el material.

Ambos ensayos deben ser realizados rutinariamente como pruebas índice para reportar los valores del comportamiento del material. Los ensayos, aunque son ampliamente aceptados como pruebas de Aseguramiento de Calidad, son simplemente ensayo índice y no necesariamente demuestran desempeño.

1.14.5 Contenido de negro de humo (ASTM D 1603)

Los productos geosintéticos tales como las geomembranas y georedes están comúnmente expuestos a los rayos UV por períodos extendidos de tiempo. La degradación debida a la exposición se puede minimizar utilizando resina de alta calidad mezclada con **negro de humo de calidad**. El negro de humo bien disperso, en cantidades de 2% - 3%, proporcionará máxima protección contra la degradación UV. Como parte del programa de ensayo estándar que debe hacer toda fabrica para verificar la cantidad de negro de humo contenido en el material, y así poder garantizar productos que cumplan los requerimientos mínimos de calidad, y así satisfacer las necesidades requeridas.

El contenido de negro de humo es medido quemando el polietileno y otros aditivos dejando sólo el negro de humo. Pesando el material antes y después del quemado, se puede calcular el porcentaje de negro de humo en la muestra.

1.14.6 Ensayo de tensión tridimensional (Multiaxial) (ASTM D 5617)

Tradicionalmente, los métodos de ensayo de la resistencia se han basado en pruebas de tensión unidimensionales tales como la ASTM D 638. Se ha desarrollado un método de ensayo alterno para simular mas exactamente la

deformación fuera del plano que ocurre en muchos proyectos de revestimiento incluyendo cerramientos, donde puede ocurrir subsidencia. Este ensayo Multiaxial estira un espécimen circular en todas las direcciones simultáneamente.

Usando una celda de presión y un caudal constante de agua o aire, el espécimen de geomembrana se deforma y elonga gradualmente. Se monitorean el punto pico de la deflexión, la tasa de flujo y la presión hasta una eventual ruptura del espécimen. Los datos recolectados ayudan en la determinación de la relación esfuerzo vrs. Deformación del espécimen, asumiendo una forma esférica o elíptica de la deflexión. El perímetro del espécimen está fijo y por lo tanto se puede impedir que el resultado sea representativo del comportamiento en campo.

1.14.7 Transmisividad hidráulica (ASTM D 4716)

Además de los productos de geomembranas, se fabrican redes de drenaje en polietileno. La geomalla esta diseñada para proporcionar el medio de drenaje de líquidos que se recolectan en sistemas de almacenamiento, sin colapsar bajo las cargas más típicas. La mayoría de fabricantes de estos productos realizan rutinariamente ensayos de Transmisividad hidráulica sobre las geomallas para verificar sus características de drenaje.

La Transmisividad hidráulica es la tasa de flujo volumétrico de agua por unidad de ancho del espécimen por unidad de gradiente en una dirección paralela al plano del espécimen. Este ensayo es realizado colocando un espécimen en un mecanismo que permite la aplicación de una carga normal. Este mecanismo está conectado a un tanque de agua en cada una de las dos aberturas. Se mantiene una cabeza hidráulica y se mide la tasa de flujo como una función de la carga.

1.14.8 Descripción y manejo de los geosintéticos

En el desarrollo de la Ingeniería se han introducido técnicas y tecnologías en el diseño y la construcción de obras civiles mejorando sus especificaciones y características a corto y largo plazo, aumentando la vida útil y buscando un equilibrio en los factores económicos que en muchos casos representan una disminución de costos.

Los geosintéticos se pueden describir como los materiales innovadores en la ingeniería vial, por ser fabricados de materiales de alta resistencia a la destrucción del medio ambiente y que pueden ser colocados en las condiciones más severas y resistir con mucha solvencia y mantener sus propiedades intactas a lo largo del tiempo de uso. Entre los diversos usos que se le pueden dar a los geosintéticos están, el de refuerzo, separación, filtro, y estabilización, protección, drenaje y barrera a los fluidos.

Por ejemplo, los Geotextiles pueden cumplir muchas funciones y dentro de las principales podemos mencionar la separación de finos con materiales granulares, también puede ser utilizado como refuerzo dando excelentes resultados. Las geomallas son estructuras planas obtenidas a partir de la soldadura de geocintas compuestas por filamentos de poliéster de alto módulo elástico y excelente comportamiento a fluencia (creep), revestidos de polietileno. El núcleo en poliéster define las características mecánicas de la geomalla. El revestimiento en polietileno tiene la función de proteger el núcleo contra daños, durante las operaciones de instalación y trabajo.

El polietileno, además de ser un polímero inerte, o sea, que presenta excelente resistencia a los ataques de agentes químicos y biológicos, no contamina el medio ambiente.

Las principales características técnicas que presentan las Geomallas son:

Alta resistencia a la tracción con baja elongación y excelente comportamiento bajo cargas constantes;

Buenas características de interacción suelo/geomalla;

Alta resistencia a los daños de instalación, capacidad de resistir las peores condiciones de colocación; Inerte y no contaminante;

Aplicabilidad en estructuras dimensionadas para una vida útil mayores de 30 años.

Su principal función es de refuerzo, ya que su elongación es baja y su comportamiento bajo cargas constantes es excelente.

Para el manejo y almacenaje de los Geosintéticos se debe tener previsto que deben ser cubiertas con polietileno (nylon) negro. Se debe tener cuidado a que la cubierta no sea removida hasta el momento de la instalación. El almacenaje debe ser realizado en ambientes cubiertos, limpios y secos, en pilas no superiores a 3.0 metros y arriba de estos rollos no debe ser colocada ninguna sobrecarga. Debido a su peso, los rollos pueden necesitar de levantamiento mecánico, para su traslado. En estos casos se recomienda tener mucho cuidado para prevenir daños al material.

Para facilitar la instalación, deben ser observadas las siguientes recomendaciones:

Verificar si las propiedades del relleno satisfacen las especificaciones;

Verificar si el drenaje es adecuado en todas las etapas de la construcción;

Evitar contacto directo de los equipos mecánicos con los geosintéticos, previniendo daños a los mismos;

Verificar que los geosintéticos estén siendo colocados de la manera correcta, como lo recomienda el fabricante;

Al iniciar su instalación, el rollo debe ser posicionado en ángulo recto en relación con el eje de los esfuerzos garantizando así un buen alineamiento del refuerzo.

El geosintético debe ser fijado con estacas o pesos en la posición exacta prevista en el diseño. Se desenrolla entonces cuidadosamente la parte restante asegurándose que en ningún punto se formen ondulaciones. Nunca coloque el relleno sobre ondulaciones.

Cuando el material esté totalmente desenrollado, el final del rollo deberá ser estirado y fijado por clavos, estacas o pesos.

Donde por razones de instalación y funcionamiento los geosintéticos estén expuestos al ataque de los rayos ultravioleta por un tiempo mayor al previsto, estos deberán ser fabricados por compuestos que le proporcionen una alta resistencia a la degradación de los rayos ultra violeta.

1.14.9 Presentación de geosintéticos:

Figura 1 Diferentes tipos de geotextiles



Figura 2. Colocación de geosintéticos sobre un terreno conformado



Figura 3. Geomallas mono orientadas



Figura 4. Geomallas bi-orientadas



1.14.10 Durabilidad de este material

Tienen la característica de que su durabilidad es muy extensa, se ha comprobado que debido a los materiales por los que están compuestos (polipropileno, polietileno o poliéster) su degradación es mínima con el paso del tiempo, son altamente resistentes al ataque químico como a los lixiviados.

La durabilidad de los geosintéticos en una carretera estará determinada por el diseño de la vida útil con la que se proyecte ésta, si el diseñador la proyecta a 20 años, esa es la cantidad de años que durara el que sea aplicado tanto como separación, estabilización, drenaje, filtración o como refuerzo. En realidad su durabilidad es muy superior, ensayos extrapolados de Creep (fluencia), dan resultados por encima de los 80 años de durabilidad. La supervivencia la determina la resistencia a la tensión, valor que es determinado en el laboratorio. Al tener el valor de tensión se puede aplicar a las diferentes cargas que se tengan proyectadas que sufrirá una vía, al obtener estos datos se llega a la escogencia del tipo de refuerzo, el cual resistirá todos los esfuerzos a los que este sometido.

Es importante que no sean expuestos a los rayos ultravioleta por un tiempo prolongado, dado que estos rayos si pueden alterar drásticamente sus propiedades y disminuir su vida de trabajo. El método de prueba de supervivencia para el deterioro por la exposición a los rayos ultravioleta, es el ASTM D 4632 (Aparato tipo Arco Xenón).

Es importante hacer mención que cualquier tipo que se utilice, el fabricante tiene la obligación de extender un certificado de calidad, el cual debe cubrir todos los requerimientos que el diseñador solicite. Ver Tabla de propiedades físicas y mecánicas en apéndice.

2. CONTROL DE RELLENOS SOBRE ÁREAS PANTANOSAS

2.1 Descripción de terreno pantanoso

Se puede decir que un terreno pantanoso o blando es aquel que se encuentra anegado de agua, o bien saturado de agua, en condición barroso. En términos de una carretera es aquel terreno que se encuentra anegado de agua el cual por su situación topográfica no permite la evacuación del agua que se logra almacenar durante la época lluviosa, por lo que este tipo de terrenos posee una gran debilidad, y son muy suaves por lo que tratar de caminar sobre este tipo de terreno se convierte en algo de suma dificultad.

Los suelos blando o del tipo pantanoso se pueden localizar sobre áreas que predomina lo llano (plano), lo que hace que no tenga un drenaje natural adecuado y logre conservar una gran cantidad de humedad. También se debe observar que el terreno con demasiada agua acumulada, se vuelve tan débil que cuando se trata de transitar sobre el mismo, se hunde cualquier cosa, dificultando así su manejo.

2.2 Posibles alternativas para lograr los mejores resultados

Para lograr buenos resultados en la estabilización de suelo blando o del tipo pantanoso, para el cual el uso de maquinaria pesada de construcción no es posible por su gran debilidad y su apoyo normal sobre esta superficie se dificulta por lo inestable del suelo, se debe pensar en las posibles alternativas que se deban aplicar para lograr los mejores resultados, tanto técnica como económicamente hablando así, se pueden tener soluciones por medio de métodos tradicionales o aplicando las innovaciones de la ingeniería moderna, aplicando nuevos materiales.

2.3 Solución por medio de método tradicional

Dentro de la construcción de carreteras en muchas oportunidades en el trazo original se pueden encontrar zonas que no sea posible eludir y necesariamente se tenga que salvar cualquier obstáculo que se presente

para su ejecución. Para salvar un área pantanosa se puede aplicar una solución del tipo tradicional para lograr elevar su valor soporte a niveles que sean adecuados, para que soporte el cuerpo total del terraplén de la carretera que será construido sobre esta subrasante.

Para esta solución se debe tomar en cuenta la cantidad de recursos que se tengan a disposición, para dar el mejor resultado tanto en costo como en tiempo de ejecución. La estabilización de un terreno pantanoso de forma tradicional se realiza de la siguiente manera:

La estabilización se lograra utilizando roca de gran tamaño, teniendo a nuestra disposición una cantera, la cual se tiene que explotar y trasladar hacia el lugar donde tiene que ser depositada. La solución consiste en lograr la estabilización con roca de gran tamaño acomodada con maquinaria pesada, y así al colocar la piedra en el terreno, el acomodo de la piedra logra poco a poco la estabilización del área formando lo que en términos comunes se le conoce como PIEDRA-PLEN.

La mayor ventaja que se puede tener al utilizar este método primordialmente, es la distancia que se tenga del banco de materiales al punto de entrega, esto debido a que la piedra que se necesita colocar es de gran tamaño y se llega a necesitar para su transporte un equipo especial (se necesitan camiones roqueros que son construidos especialmente para este trabajo) que resulta ser sumamente costoso, situación que se debe tomar muy en cuenta. Si el banco de materiales se encuentra a una distancia considerable del lugar donde se construirá el relleno de piedra, los costos de acarreo y la obra en sí sufrirá un sobre costo que puede ser muy perjudicial. También se debe considerar el tiempo de ejecución, el cual puede tener retrasos que en las condiciones actuales son muy importantes, en lo que se refiere a los gastos indirectos, los cuales desde todo punto de vista son inconvenientes.

Como un ejemplo de la utilización de este método, en la construcción de la carretera en el tramo Modesto Méndez – San Luís, la empresa contratista encargada de la ejecución del proyecto se encontró con este tipo de problema, un terreno totalmente saturado y en una parte del tramo totalmente inundado con una película de agua que oscilaba de 0.50 m a 1.00 m y la solución que se adoptó por parte de la Supervisión del proyecto fue la colocación de un terraplén utilizando roca de gran tamaño (Piedra – Plén).

Existían varios tramos pantanosos que requerían ser estabilizados de alguna manera, ya que la topografía del terreno no permitía realizar un cambio de línea que lograra evadir el sector afectado, ya que toda esta área es demasiado plana y no permite la evacuación de las aguas de lluvia. La solución de elevar la rasante fue la que se adoptó inmediatamente, para lo cual utilizaron piedras de gran tamaño, con la ventaja de que el banco de materiales lo tenían a poca distancia, la estabilización se logró al realizar el relleno con material rocoso de gran tamaño, colocando una gran cantidad de material hasta llegar al nivel de subrasante requerido para dar la geometría necesaria. Es de hacer notar que para lograr el objetivo de estabilización del terreno, cada roca que se depositaba inicialmente se incrustaba y no se notaba que hubiese sido colocada en el lugar, para el corte, carga y transporte del material fue necesario una gran cantidad de equipo especial.

El tamaño de piedra que fue necesario mover para la estabilización oscilaba en un rango de 0.50m a 2.00m de diámetro en promedio, con lo cual en la parte inicial los camiones roqueros podían transportar una o dos rocas. Para la carga de estas rocas fue necesario utilizar un cargador frontal de gran tamaño, se utilizaron cargadores Caterpillar 966 E.

Tomando en cuenta la gran cantidad de material que se colocó, para lograr estabilizar la subrasante de este terreno, era impresionante observar como el terreno consumía la piedra que era colocada, al hundirse una buena parte de ella, asimismo la gran cantidad de maquinaria pesada que se hizo

necesario utilizar para lograr los objetivos: los costos y el tiempo que se emplearon fueron bastante elevados.

Equipo mínimo necesario para obtener la roca en la cantera, así como para el transporte y colocación del material:

Tabla III. Equipo mínimo obtención roca en cantera

No.	MAQUINARIA	TIPO	CANTIDAD
1	Tractor de Banda	Caterpillar D8N	3
2	Cargador Frontal	Caterpillar 966E	3
3	Compresor + Barreno	Ingersoll Rand	2
4	Camiones Roqueros	Terex	10
5	Camiones Normales*	Ford	10
6	Material explosivo**		**

*Este tipo de camiones sufrió un notable deterioro en su estructura por el tipo de material que se transporto, y para lo cual no estaban capacitados.

**La cantidad de explosivo que se utiliza para la explotación de una cantera, depende directamente del tipo de roca que se tenga y del factor de carga con el que se diseñe cada voladura.

2.4 Solución

En la construcción de terraplenes sobre suelos pantanosos (suelos muy blandos) es necesario tomar en cuenta el factor económico, así como el tiempo que se tenga disponible para ejecutar el proyecto.

Teniendo definidos los costos y los tiempos disponibles se puede llegar a realizar los cálculos necesarios para determinar cual es el método que se tenga que aplicar. En este capítulo se define la utilización como una solución alternativa para poder reducir volúmenes de material que se tengan que mover, lo que implica que si se logra reducir significativamente los volúmenes, la economía en tiempo de ejecución también será reducida.

2.4.1 Aplicación

Para llegar a obtener una buena solución es necesario contar con los elementos para realizarlo. Se debe investigar los diferentes productos que estén disponibles en el mercado local y la disponibilidad de los mismos en los volúmenes que se requerirán. Para lograr la estabilización de una zona pantanosa con Geosintéticos, se requiere de una combinación de elementos para que los resultados sean los óptimos.

En el problema que se presentó en la carretera de Modesto Méndez – San Luís, lo dificultoso que resultó trabajar sobre un terreno que este totalmente saturado y que no permitía que se colocara ningún tipo de material de granulometría fina, que hubiese sido mucho más económico, que la colocación de piedra de gran tamaño para lograr la estabilización de la subrasante. Para dar una solución efectiva a este problema se requerirá de la combinación de dos elementos, un geotextil con una Geomalla. Se debe pensar en la colocación de una tela Geotextil, que posea una gran resistencia a la tensión, capaz de soportar la tracción a la cual estará sometido y que a su vez posea una permeabilidad aceptable. Teniendo el Geotextil adecuado se debe proceder a la selección del otro elemento que completa la combinación, siendo la selección de una Geomalla (bi orientada) que reúna las condiciones que se requieren, tanto en las funciones que debe cumplir como en la facilidad de adquisición.

Con el tipo de solución que se tiene pensado aplicar, se define el área necesaria en donde será utilizada. Para el caso que presentamos en donde se requiere salvar un tramo de terreno pantanoso, los factores críticos son el

costo y el tiempo que es un factor clave en este proyecto debido a que el tiempo de verano de esta región es muy corto (gran parte del año permanece con lluvia), la utilización resulta ser de gran ayuda ya que permite la utilización de mayor cantidad de recursos y la estabilización se logra de una manera rápida y efectiva.

2.5 Función principal del geotextil

Para este caso se deben de usar geotextil elaborado con fibras sintéticas, del tipo no tejido. El geotextil escogido en el diseño debe tener capacidad para dejar pasar el agua, reteniendo el suelo fino del sitio además debe presentar requerimientos particulares de propiedades mecánicas, hidráulicas y de filtración. La función principal del geotextil será la de separación y drenaje para lo cual es altamente efectivo por su estructura, versatilidad y facilidad para la instalación.

2.6 Función principal de la geomalla

La función principal y básica que tendrá la geomalla será la de refuerzo del suelo para incrementar el valor soporte del suelo natural y permitir que se inicie la colocación del material de préstamo para relleno, dando la oportunidad de que se logren las compactaciones requeridas. Al utilizar de la geomalla se logra el incremento necesario del valor soporte, que permite las diferentes maniobras de la maquinaria que se utiliza para la conformación y compactación del terraplén.

Figura 5. Colocación de geomalla sobre área pantanosa



Al utilizar la combinación de Geotextil no tejido + Geomalla se logra evitar que el material que se este colocando penetre hacia las capas del terreno natural y se incruste, por lo que disminuye de una manera considerable el volumen del material que es requerido para el relleno del terraplén hasta una altura de subrasante.

Las ventajas principales que se tienen al aplicar esta combinación son las siguientes:

Separación del suelo natural con el material de préstamo que se colocará en el terraplén

Al tener problemas de drenaje debido a la proximidad del nivel freático el Geotextil no tejido es ideal para cumplir con esta función de descarga del caudal de agua que pudiera acumular en el terraplén, el cual debe ser evacuado finalmente hacia los medios de descarga normales (tuberías o subdrenajes).

Logra transmitir los esfuerzos e incrementa la resistencia del suelo natural, al limitar los movimientos horizontales y verticales.

Posiblemente el factor de mayor importancia de la aplicación es que evitan los asentamientos diferenciales al distribuir las cargas uniformemente en toda la base del terraplén.

Se previene que en el futuro se desarrollen posibles grietas que puedan propiciar infiltración.

Disminución de los volúmenes de material de banco ayudando considerablemente en la disminución de tiempos de ejecución, y gracias a la versatilidad de esta combinación que puede ser instalada en condiciones de humedad, e inclusive en presencia de agua como en este caso.

Pasos que se deben considerar en la aplicación:

Con la determinación de los productos que son requeridos y serán utilizados se realiza una pequeña limpieza del lugar de construcción. Seguidamente se procede a colocar el Geotextil no tejido sobre el terreno natural, luego se procede a colocar Geomalla sobre Geotextil no-tejido.

Luego de la colocación se procede a la colocación del material grueso de relleno, (material de préstamo, piedra u otro material granular adecuado para relleno).

Cuando se inicie la colocación del material de relleno el Geotextil no tejido y la Geomalla sufrirán un asentamiento debido a la gran cantidad de liquido que pueda tener el terreno natural, pero este no será tan considerable, debido a que el agua será la que fluya hacia la parte superior y los sedimentos y material fino quedaran aislados por el geotextil no tejido, logrando así un gran confinamiento del material de relleno.

Lo más importante es que la mayor cantidad de esfuerzos los soportara la Geomalla, además de ayudar a soportar carga, el geotextil no tejido contribuirá como un separador entre el material de préstamo y el suelo natural y con ello evitar la migración de los finos a las capas granulares del terraplén, lo que denominamos comúnmente contaminación del nuevo material.

Para el caso que nos ocupa el suelo natural tiene un CBR = 0, siendo así un material que por si solo no soporta carga, deben proporcionar esta capacidad portante al terraplén.

Con el uso de una combinación de ambos (geotextil no tejido + Geomalla), es importante hacer notar que en el futuro se evitara asentamientos diferenciales ya que permitirá lograr las compactaciones requeridas para un terraplén.

<p>Figura 6. Colocación sobre pantano</p>  <p>A photograph showing several workers in blue shirts and white pants working in a swampy, water-saturated area. They are laying out a dark, geosynthetic material on the ground. The area is surrounded by tall grasses and reeds.</p>	<p>Aquí se puede observar la superficie en donde será colocado los geosintéticos que fueron seleccionados para lograr la estabilización. Nótese la gran cantidad de agua que se encuentra en la superficie.</p>
<p>Figura 7. Colocación geosintético en pantano</p>  <p>A photograph showing workers installing a geosynthetic material on a large, flooded area. The workers are standing on the material, which is being laid out over a body of water. The background shows a line of trees and a clear sky.</p>	<p>Aquí se puede observar la instalación sobre una área anegada de agua o pantanosa.</p>

Materiales recomendados para ser aplicados en un relleno sobre material muy blando:

Geotextil

Tabla IV. Propiedades de geotextiles

		Clase de Geotextil ^{(1),(2)}						
		Clase 1		Clase 2		Clase 3		
Método de Ensayo	Unidades	Elongación < 50% ⁽³⁾	Elongación > 50% ⁽³⁾	Elongación < 50% ⁽³⁾	Elongación > 50% ⁽³⁾	Elongación < 50% ⁽³⁾	Elongación > 50% ⁽³⁾	
Resistencia Grab	ASTM D 4632	N	1400	900	1100	700	800	500
Resistencia de la Costura ⁽⁴⁾	ASTM D 4632	N	1260	810	990	630	720	450
Resistencia al Rasgado	ASTM D 4533	N	500	350	400 ⁽⁵⁾	250	300	180
Resistencia al Punzonado	ASTM D 6241	N	2750	1925	2200	1375	1650	990

(1) La severidad de las condiciones de instalación para la aplicación generalmente requiere una clase de geotextil. Clase 1 esta especificada para las condiciones de instalación más severa, donde existe un gran potencial de daño del geotextil, y clases 2 y 3, son especificadas para condiciones menos severas.

(2) Todos los valores numéricos representan el VMPR (Valor Mínimo Promedio por Rollo), en la dirección más débil.

(3) Medido de acuerdo al ASTM D4632.

(4) Cuando juntas cosidas son requeridas, referirse a la figura 43 para requerimientos para traslapes cosidos.

(5) El VMPR requerido para resistencia al Rasgado Trapezoidal, para geotextiles tejidos de monofilamentos, es de 250 Newton.

Requerimientos mínimos de propiedades mecánicas de la geomalla

Tabla V. Resistencia Mecánica

	BX 35	BX 65	UX100
MD Resistencia última (kN/m)	41.3	71.2	108.7
MD Elongación a Rotura (%)	14.3	15.3	15.6
MD Resistencia @ 2% deformación (KN/m)	7.9	12.7	19.1
MD Resistencia @ 5% deformación (KN/m)	12.5	20.1	30.1

Tabla VI. Características Físicas

Resistencia a altas temperaturas (punto de ablandamiento °C)	240	240	240
Apertura de la Geomalla, (MD x TD en mm.)	26x25	22x22	32x20
Área abierta (%)	52.0	39.4	49.0

El ensayo ASTM D 4595 y D 6637 es el adaptado para geomallas

MD: Dirección de la maquina, a lo largo de los rollos

Referencias: BX, resistencia biaxial. 35 y 65, es la resistencia mínima nominal en KN/m. UX, resistencia uniaxial. 100, es la resistencia mínima nominal en KN/m.

Los resultados indicados son valores promedio de ensayos estadísticos llevados a cabo por Laboratorio Certificado GAI-LAP-1-95 por El Geosynthetic Institute, y pueden estar sujetos a cambio sin notificación.

2.7 Comparación de tiempo y costo

Para la construcción de terraplenes sobre suelos blandos, se debe tener en cuenta, el tiempo en el cual se requiere entregar una obra y la disponibilidad de los materiales que se necesiten para la construcción del relleno.

2.7.1 Cálculo de relleno con roca sobre un área pantanosa

Para la ejecución de un relleno con roca sobre áreas pantanosas, se debe de considerar tres aspectos fundamentales:

Maquinaria y equipo disponible

Materiales disponibles (cantidad necesaria)

Tiempo que se tiene disponible para la ejecución de los trabajos

1. Para la colocación de un relleno de roca (Piedra Plén), se debe considerar que la maquinaria y equipo que se requiere es del tipo pesado. Por ejemplo, para la construcción de la carretera CA – 13 tramo Modesto Méndez – San Luís, se necesitaba estabilizar una longitud aproximada de tres kilómetros, se requería de maquinaria variada, por ejemplo: Para fracturar la roca se necesito tener taladros autopropulsados basado en aire comprimido, (Track Drill + compresor), explosivos para provocar la voladura, para la excavación del material ya fracturado con Tractores de Cadena D8N, Cargadores frontales 966 E y para el transporte de la roca camiones roqueros especiales para cantera.

Para la colocación, tendido y compactación de la capa de roca se necesita de un tractor D8N, Tracto compactador Cat 825 (Pata de Cabra).

Al realizar el resumen de maquinaria y equipo que se requería para ejecutar la operación tenemos:

Maquinaria pesada (corte y colocación):

Tractor D8N = 3 unidades

Cargador Frontal = 2 Unidades

Tracto compactador = 2 unidad

Track Drill = 1 unidad

Compresor de aire = 1 unidad

2. Equipo de transporte:

Camión roquero = 10 unidades

Camión de volteo = 10 unidades

3 Material explosivo:

Cordón detonante = 10,000.00 m

Mecha lenta = 50 m

Detonador no eléctrico = 50 un.

Exploemulsión = 20000.00 Kg

Anfomaya = 70000.00 Kg.

4. Mano de Obra

Superintendente de Proyecto = 1

Ingeniero Residente = 1

Encargado de maquinaria = 1

Topografía = 1 Cuadrilla

Laboratorio de suelos = 1

Operadores de maquinaria = 8

Pilotos de camiones = 20.

Peones = 16

Cheques de material = 4

Guardián = 4

5. Combustible

Calculado de acuerdo al gasto de cada maquina (rendimiento), que es diferente para cada una.

Volumen aproximado de roca a ser colocado = 58,500.00 m³

2.7.2 Tiempo de ejecución

Por el Volumen del relleno que tiene que ser colocado y las dificultades para su ejecución los rendimientos son bastante bajos por lo que se considera que en un periodo de 4.5 meses se puede concluir este relleno.

Tomando en cuenta que la época seca de esta región es mínima, se tiene el tiempo exacto para la culminación de este relleno, considerando que los posibles retrasos y contratiempos sean la menor cantidad posible, y que la época de lluvias no alargue el proceso de ejecución.

Figura 8. Costo de relleno con roca

Cuadro de Tiempo y Costo de Maquinaria y Mano de Obra

Relleno de terraplén con roca

Cantidad total de relleno 58,500.00 m³

No	Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimiento m ³ /hora	Costo/Hora	Total
1	Tractor D 8 N (Caterpillar)	Hora	643.50	0.011	Q 1,028.00	Q661,518.00
2	Cargador Frontal 966 E	Hora	585.00	0.01	Q 405.00	Q236,925.00
3	Tractocompactor 825	Hora	877.50	0.015	Q 450.00	Q394,875.00
4	Camión roquero	Hora	2,340.00	0.04	Q 250.00	Q585,000.00
5	Camión de Palangana	Hora	4,095.00	0.07	Q 150.00	Q614,250.00
6	Pick Up de 1 tonelada	Hora	292.50	0.005	Q 75.00	Q21,937.50
7	Superintendente de proyecto	Hora	292.50	0.005	Q 250.00	Q73,125.00
8	Ingeniero Residente Terracería	Hora	526.50	0.009	Q 135.00	Q71,077.50
9	Encargado de maquinaria	Hora	1,053.00	0.018	Q 75.00	Q78,975.00
10	Ayudantes de maquinaria	Hora	4,855.50	0.083	Q 16.00	Q77,688.00
11	Cuadrilla de Topografía	hora	1,170.00	0.02	Q 250.00	Q292,500.00
12	Cheques de material	Hora	4,855.50	0.083	Q 16.00	Q77,688.00
13	Costo de extracción de roca con Explosivos	m ³	58,500.00		Q 145.00	Q8,482,500.00
Costo total						Q11,668,059.00

Dentro del precio de la maquinaria esta incluido el costo del combustible que utiliza por cada hora trabajada.

Tiempo Aproximado de ejecución de la obra: 4.5 meses, (tiempo estimado óptimo sin considerar ningún retraso.)

Costo estimado para realizar Piedra Plén = Q. 11,668,059.00

2.7.3 Estimado de tiempo y costo

De acuerdo a las innovaciones tecnológicas que existen en el mercado el problema antes descrito pudo haberse tratado de una forma diferente. Es

indispensable proporcionar rigidez suficiente a la base, para disminuir las tensiones verticales y los asentamientos diferenciales. Además de las consideraciones anteriores, era necesario contar con una alta rigidez para la fase de la construcción inicial, a efecto de permitir en el sitio la maquinaria pesada sin hundirse en el suelo totalmente saturado.

Para la estabilización de este terraplén se requiere la utilización de una combinación, uno que funcione como separador y otro como refuerzo.

Como separador se utilizara un geotextil de la más alta calidad, capaz de resistir los esfuerzos de tensión a los que se vera sometido durante la vida útil de la carretera, y lo principal que los materiales finos no migren hacia las capas superiores y contaminen la estructura del terraplén y por consiguiente lo debiliten.

El material de refuerzo recomendado para estos casos es una geomalla bi orientada, la cual debe ser capaz de resistir los esfuerzos de las diferentes cargas a las cuales será sometido, tanto durante la construcción como en su vida útil.

Para este caso se requiere la utilización de un geotextil no tejido (por ejemplo, de la Empresa MACCAFERRI) MT 200, con una resistencia a la tensión Grab de 500 N, Elongación mayor de 50%, Resistencia al Punzonamiento 250 N como mínimo, Resistencia al rasgado trapezoidal 250 N, Resistencia al estallido 1300 kPa, Estabilidad Ultravioleta 50% después de 500 horas de exposición, Permisividad 0.2 s^{-1} , con estas características se obtiene un excelente resultado de separación y filtración, que impide la migración de las partículas finas hacia las capas superiores. En función de refuerzo se requiere la aplicación de una Geomalla bi orientada la cual debe tener las siguientes características para obtener los resultados que son requeridos:

Para este caso se propone una Geomalla, se deben considerar las cuestiones más importantes para determinar la resistencia con relación a la vida total de la estructura del proyecto:

La relación tensión – deformación de la geomalla

El comportamiento a fluencia de la geomalla (no sólo de la materia prima) y la extrapolación de los datos de fluencia disponibles hasta el final de la vida útil de la estructura.

La influencia del daño mecánico en la instalación debido a la compactación.

La influencia ambiental.

La tensión de diseño de una geomalla se puede determinar (F_d) de la siguiente forma:

$$F_d = (F_k / (A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times Y)) \text{ (kN/m)}$$

Donde:

F_k	Tensión nominal o resistencia a tracción a corto plazo (kN/m)
A_1	Factor de seguridad de fluencia
A_2	Factor de seguridad para daño mecánico
A_3	Factor de seguridad debido a uniones y traslapes. Si no hay traslapes en la dirección del refuerzo $A_3 = 1.00$
A_4	Factor de seguridad para efectos medioambientales
Y	Factor de seguridad en el proyecto, fabricación y extrapolación de datos

Los factores de seguridad parciales son conocidos para los productos certificados, ya que durante el proceso de certificación se han ejecutado todas las investigaciones relevantes, las cuales son posteriormente evaluadas por un instituto independiente de certificación.

El área que se requiere de geotextil no tejido para cubrir esa superficie es aproximadamente 34,500.00 metros cuadrados, y de Geomalla de refuerzo

es de 69,000.00 metros cuadrados, por lo que al combinar estos dos materiales se obtiene el resultado siguiente. Se requiere una mayor cantidad de Geomalla debido a que por el tipo de relleno que se construye, se hace necesario la colocación de geomalla intercalada en dos alturas diferentes, una combinación con el geotextil no tejido en el inicio del relleno y otra capa de Geomalla cuando se lleve una altura de un metro de relleno.

A continuación se presenta un cuadro con un costo aproximado del proyecto, en donde se puede apreciar la reducción de costo es bastante significativa. En el tiempo de ejecución también se reduce, al tener la posibilidad de realizar un relleno de terraplén controlado, el cual se puede realizar de forma mas acelerada.

Figura 9. Cálculo de costo de terraplén aplicando geosintéticos

No.	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Total
1	Excavación no clasificada de préstamo	m3	58.500,00	Q35,00	Q2.047.500,00
2	Geotextil para separación	m2	34.500,00	Q7,20	Q248.400,00
3	Geomalla como refuerzo	m2	69.000,00	Q31,00	Q2.139.000,00
4	Acarreo	m3 - Km	789.750,00	Q2,80	Q2.211.300,00
5	Transporte de Geosinteticos	m3 - Km	5.000,00	Q2,10	Q10.500,00
Costo total					Q6.656.700,00

Analizando los resultados de las dos soluciones presentadas en esta sección se puede observar la diferencia tanto de costo como las bondades de los materiales, comparados con la solución tradicional utilizando un relleno masivo de roca.

La disminución de los tiempos de ejecución que se pueden lograr es muy significativa, por el tipo de material que puede ser utilizado par realizar el relleno, así también el tipo de maquinaria que requiere es más liviano y sufre un deterioro menor.

Al realizar el análisis numérico del porcentaje de reducción de costo y tiempo tenemos:

% reducción de costo = $6,656,700.00 / 11,668,059.00 = 0.571 \times 100 = 57.1$
%

% reducción de Tiempo = $2.5 \text{ meses} / 4.5 \text{ meses} = 0.55 \times 100 = 55.00$ %

Se puede apreciar que las reducciones son significativas:

% Reducción de Costo = 42.90 %

% Reducción de Tiempo = 45.00 %

3. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS SATURADOS Y CONSTRUCCIÓN DE TERRAPLENES SOBRE LOS MISMOS

3.1 Descripción del problema y posibles causas que lo originan

Cuando se construyen terraplenes sobre suelos blandos, estos pueden transmitir una presión de contacto de tal forma que se generan unas fuerzas de corte las cuales pueden disminuir la resistencia al corte del suelo de fundación, obteniéndose como resultado la falla en la base del terraplén. Un adecuado diseño de capas colocados en la base del terraplén permite desarrollar un refuerzo a la tracción de tal manera que el factor de seguridad ante la falla por efecto del peso del terraplén aumente hasta un valor confiable.

El refuerzo puede disminuir los desplazamientos horizontales, verticales y los asentamientos diferenciales, aunque no se debe considerar que presente una disminución de los asentamientos por consolidación primaria ni secundaria. Los suelos blandos o débiles (arcillas, limos o turbas, suelo residual) son aquellos en los cuales se plantea un serio problema para el rendimiento de las estructuras que se quieran construir sobre ellos, debido a la dificultad que representa la estabilización mecánica que se necesita, por lo que es bastante difícil debido a que regularmente están formados por arcillas cohesivas que requieren por lo general, periodos de 20 a 25 años para alcanzar un 90% de consolidación.

En la construcción de una carretera nueva que en sus requerimientos sea indispensable que su trazo tenga que librar una área en la cual se encuentre un terreno de características muy críticas, (tales como saturación de agua y por lo tanto es muy débil), para lo cual se hace necesario tomar la decisión de aplicar un método de estabilización tradicional o bien un nuevo método de estabilización a través de la aplicación de un geosintético.

Por razones de costo obviamente durante la construcción de una carretera no se tiene tanto tiempo para esperar una consolidación a tan largo plazo, debido a lo complejo que resulta trabajar este tipo de material se necesita la aplicación de algún método diferente que logre la consolidación del terreno en un tiempo bastante prudencial y no en muchos años.

La principal causa de que se presente este tipo de suelo blando es el apareamiento de agua subterránea, la cual provoca que el suelo siempre se encuentre saturado, esto es debido a pequeñas corrientes que existan en el área específica de la construcción. De donde denotamos que el principal provocador de un problema en una carretera es el exceso de agua que pudiera existir en las capas inferiores de donde se proyecta construir, o bien un terraplén para una plataforma ya sea para un parqueo, o para una construcción de un edificio.

Si un camino pavimentado o de terracería se va a construir sobre un suelo blando, saturado, pueden aparecer problemas ocasionados por el tráfico durante o después de la construcción. El suelo de base se puede mezclar con un suelo blando o se pueden presentar movimientos horizontales y verticales de la base, produciendo fallas profundas y grietas en la superficie que afecten el tráfico. Esto se puede evitar incrementando la capacidad de carga del suelo de cimentación y limitando los movimientos del suelo base.

3.2 Soluciones tradicionales que se puedan aplicar

Existen varias técnicas para incrementar la capacidad de carga en suelos blandos una de estas es reforzar la base de tal forma que la mesa del suelo pueda resistir mayores niveles de esfuerzo constante, y la transmisión de estos esfuerzos al suelo blando sea enormemente reducida.

Al realizar los estudios y análisis de suelos de una forma completa y detallada, se debe llegar a tener claro el concepto que lo requerido es

realizar un trabajo 100% garantizado y en el cual no se puede permitir que ocasione problemas posteriores, tal el caso de aparecimiento de una zona que continúe con deflexiones y por consiguiente el posterior aparecimiento de baches, los cuales surgen de una mala estabilización de las capas inferiores de la carretera. Para evitar el aparecimiento de baches es necesario que el trabajo se realice de una manera profesional, que minimice el riesgo de un problema posterior.

Una manera tradicional de combatir este tipo de problemas de materiales sumamente saturados, que son difíciles de solucionar es la siguiente:

Un método rápido y que en algunos casos puede llegar a tener buenos resultados es la colocación de subdrenajes tradicionales, colocados ya sea longitudinalmente a lo largo de la zona afectada o bien transversalmente o tipo “espina de pescado”, tratando de evacuar el agua que pudiera existir en el sector afectado, siendo el caso que el suelo existente al ya no tener un afluyente logre ser consolidado en un 100%, y que llegue a ser estabilizado de una forma adecuada, para poder ser utilizada sin ningún problema de asentamiento posterior. Este método puede utilizarse siempre y cuando exista un lugar y la topografía del terreno permita la evacuación del agua acumulada en el suelo.

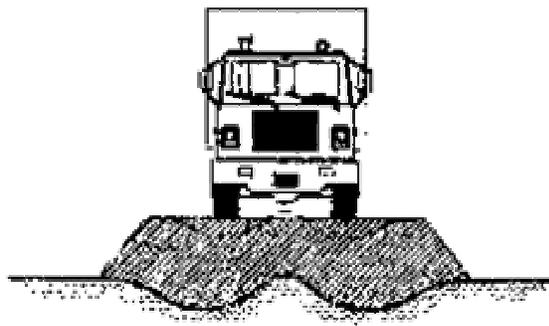
Otra solución tradicional que se puede aplicar a este tipo de problema es la siguiente: Al observar el problema que se presenta, considerando tener la maquinaria adecuada y contar con los recursos necesarios, se puede realizar una excavación o remoción de todo el material que sea inadecuado para lograr la consolidación del terreno.

Esta solución consiste en la extracción de todo el material que se considere inapropiado para la obra, hasta llegar a un nivel en donde se tenga un suelo de mayor solidez y así tener la certeza de que el terreno podrá soportar todas las cargas que de él serán requeridas, durante su vida

de servicio, luego de realizar la extracción del material inapropiado o de desperdicio, se debe proceder a la colocación de material nuevo importado de un banco de préstamo que reúna las propiedades necesarias y adecuadas para lograr una compactación requerida por las especificaciones y normas generales de construcción de carreteras establecidas para el proyecto a construir.

Para llevar a cabo este procedimiento de saneamiento del terreno los requerimientos del equipo de construcción tanto en personal, maquinaria y camiones, representa una elevados costos en ejecución, los cuales se ven incrementados sustancialmente y además lo de mayor importancia es el tiempo para la ejecución que se ve igualmente aumentado, provocando un atraso en la obra y no teniendo la continuidad de ejecución que es tan importante en la construcción de una carretera. Así pues, tomando en cuenta la cantidad de recursos que se necesitan es alto, tanto en maquinaria, mano de obra y materiales que se requieren para lograr llegar al éxito, se debe realizar la comparación de costos y tiempos contractuales que se necesiten cumplir para evaluar la conveniencia o no de la aplicación de este método en un determinado momento.

Figura 10. Posibles deformaciones de subrasantes al aplicárseles una carga



3.3 Aplicación para optimizar soluciones

Generalidades

Hoy en día se cuenta con una multitud de técnicas para mejorar el terreno que permita acometer con seguridad la construcción de estructuras, sobre suelos o con suelos inadecuados que hasta hace relativamente poco tiempo hubieran sido considerados no aptos para la construcción. Estos terrenos inadecuados son, normalmente, aquellos con exceso de agua o con baja capacidad de soporte relativa (CBR) y una alta deformabilidad asociada.

El desarrollo y su utilización en los campos de la ingeniería, ha introducido un nuevo concepto en las metodologías de diseño y construcción de sus diversas aplicaciones. Son muchas las teorías y las investigaciones que han surgido con esta nueva tecnología, basadas en las necesidades y los requerimientos de los diseñadores y constructores, llevando a que se utilicen cada vez más para la realización de las obras civiles.

Uno de los mayores campos de aplicación son las vías, donde se deben considerar varios aspectos que involucran su utilización: separación, refuerzo, estabilización de suelos, filtración y drenaje.

En el campo de infraestructura vial, uno de los problemas que se presentan con mayor frecuencia es el deterioro prematuro de las vías, causado por factores relacionados con las características y las propiedades de los materiales que conforman la estructura de la vía y con las condiciones de carga que sobrepasan los valores de diseño.

La utilización de los geotextiles no tejidos como una capa de separación entre los suelos de subrasante y las capas granulares ha permitido mantener la integridad de los materiales y mejorar su desempeño, aumentado

considerablemente el periodo de vida útil de las estructuras establecido en el diseño. Los Geotextiles cumplen una función de separación de materiales y de estabilización de la subrasante durante toda la vida de la estructura de la vía, mejorando las condiciones de servicio y estabilidad de las obras. Las Geomallas y los Geotextiles Tejidos le dan un refuerzo a la estructura logrando consolidar el terreno a diferentes niveles tanto en subrasante como en la base (o estructura del pavimento).

3.4 Función de separación (geotextiles)

Desde el punto de vista estructural, la contaminación de las capas granulares, la mezcla de suelos de diferentes características y el comportamiento mecánico del suelo de subrasante son factores de gran influencia en el deterioro de las vías, lo que se traduce en una reducción de la capacidad portante de todo el sistema. La metodología tradicional de diseño de vías contempla un espesor adicional de material granular para compensar el material que se mezcla y se contamina con el suelo de subrasante, perdiendo todas sus propiedades y características iniciales; Sin embargo estos diseños no tienen en cuenta el mismo proceso que se desarrolla a largo plazo y que trae como consecuencia un deterioro de las capas que conforman la estructura lo que lleva a una disminución considerable del periodo de vida útil establecido.

El geotextil se traduce en una barrera para la migración de partículas entre los dos tipos de suelo, facilitando la transmisión de agua. Se requiere entonces un geotextil que retenga las partículas de suelo y evite el lavado de finos por la acción del agua y que cumpla con resistencias necesarias para mantener la continuidad sin que ocurra ninguna falla por tensión, punzonamiento o estallido, bajo concentraciones de esfuerzos locales causadas por irregularidades en el suelo de fundación.

3.5 Refuerzo de suelos

Suelo reforzado es el término utilizado para describir una conocida técnica de construcción basada en el simple principio de que la estabilidad del suelo puede ser mejorada por medio de su interacción con materiales más resistentes a esfuerzos de tracción.

La técnica puede ser usada para una gran variedad de aplicaciones, incluyendo la estabilización de taludes y terraplenes sobre suelos blandos o sobre cavidades. La inclusión durante el proceso de construcción del cuerpo del terraplén, proporciona una sensible mejora de las características mecánicas del conjunto en comparación con las presentadas por el suelo por sí mismo.

Esta mejora posibilita, a la combinación soportar cargas considerablemente mayores que aquellas soportadas por el suelo no reforzado. Por ejemplo, un talud reforzado puede ser construido con inclinación mayor que el ángulo natural de reposo del suelo que lo compone, y también evita los asentamientos diferenciales que se pudieran producir por las cargas que le serán aplicadas durante su vida útil.

Existen varias opciones que se pueden llegar a poner para estabilizar los suelos blandos. Debido a la gran gama de usos que se le pueden dar por su buen comportamiento se puede aplicar las denominadas GEOMALLAS BIORIENTADAS. (Bi Axiales) o Geotextiles Tejidos, estos últimos siempre que no existan subpresiones debidas al agua. O bien colocando drenajes verticales denominados DRENES, para lograr una consolidación acelerada de suelos cohesivos que son difíciles de consolidar, ya que requieren periodos largos de tiempo (20 a 25 años para alcanzar el 90% de consolidación).

3.6 Aplicación de geomallas bi orientadas

Este tipo de Geomalla posee capacidad en dos direcciones, aproximadamente perpendiculares entre si, y se utilizan para refuerzos con carga de dirección variable. En el caso de terraplenes construidos en superficies sujetas a hundimientos, el refuerzo con Geomallas soldada es utilizado para minimizar los efectos de los posibles hundimientos debajo de los terraplenes. En estos casos, los refuerzos forman una especie de puente manteniendo el soporte (apoyo) para los terraplenes.

Debido a la alta resistencia de las geomallas soldadas o extruídas, las vuelven ideales para ser utilizadas como refuerzo de terraplenes sobre suelos blandos. En estos casos se obtiene una óptima relación costo / beneficio debido a la substancial reducción del volumen y tiempo de construcción de un terraplén.

En caso de suelos naturales muy débiles, la colocación de geomallas produce una distribución de cargas que maximiza la capacidad portante de la subrasante, permitiendo un fácil acceso y construcción de plataformas de trabajo sin necesidad de recurrir a los onerosos métodos tradicionales (reemplazo del suelo, estabilización química, etc.).

La tecnología de las geomallas varía mucho según su composición química, fabricación y según las diferentes patentes existentes en el mercado. Así, se pueden encontrar geomallas de diferentes materiales y formas, con diferentes tecnologías de unión en las juntas, con distintas aperturas de malla, con distintos espesores, etc. Todas estas variaciones, obviamente, dan como resultado diferentes propiedades mecánicas y diferentes comportamientos, lo que deberá tenerse en cuenta a la hora de seleccionar la geomalla más adecuada para una aplicación determinada.

Figura 11. Facilidad para la instalación de la geomallas de refuerzo



3.7 Prueba de campo

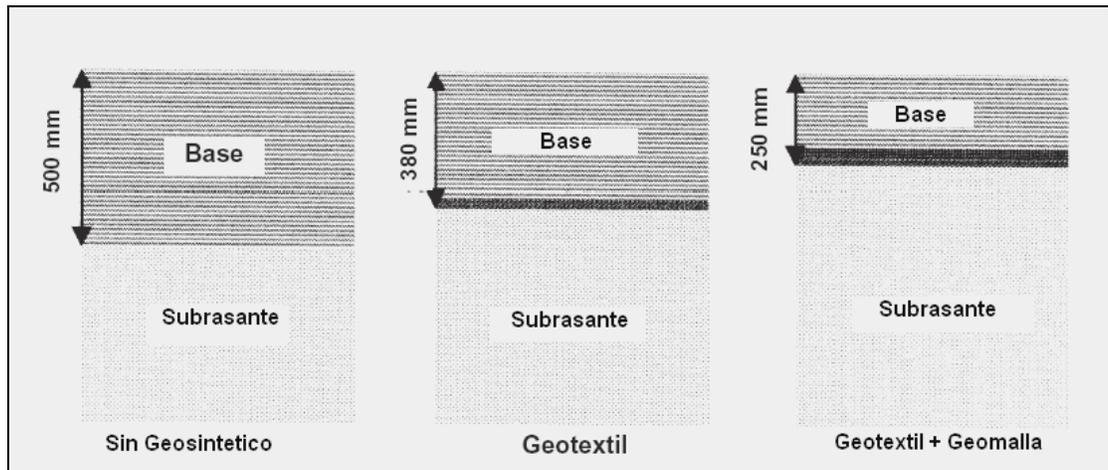
Esta prueba consiste en la carga, mediante pasadas (2,000 ciclos) de un camión de 19.00 toneladas de peso, de un camino de grava construido sobre suelos blandos ($\text{CBR} < 1$). La idea rectora fue comparar la resistencia otorgada por distintos geosintéticos. Para esto, se dispusieron 4 tramos diferentes en el camino: el primero sin ningún refuerzo, el segundo con un geotextil no tejido, el tercero con un geotextil tejido y, por último, el cuarto con geotextil no tejido y una geomalla rígida.

El criterio de falla adoptado para la prueba fue una deformación de 3.00 pulgadas (7.62 cm.) sobre la base del camino. Con este criterio de falla, entonces, se encontraron los distintos espesores de relleno de grava que se necesitaban para cada caso. Los resultados fueron los siguientes:

- | | |
|--|-----------------------|
| 1. Sin refuerzo: | $e = 20''$ (50.80 cm) |
| 2. Con geotextil Tejido o No Tejido: | $e = 15''$ (38.10 cm) |
| 3. Con geotextil No Tejido y Geomalla: | $e = 10''$ (25.40 cm) |

Nótese la diferencia (y, por lo tanto, el ahorro) obtenida a partir del uso de la geomalla. Además, al estudiar la distribución de la resistencia otorgada en cada caso, el resultado fue, todavía más contundente, tal como puede verse en la Figura siguiente;

Figura 12 Comparación de reducción de espesores de base



Es decir que la geomalla no sólo posibilita una mayor reducción en el espesor del relleno sino que, además, otorga una resistencia superior desde los estratos más bajos (es decir que el aumento de resistencia no es gradual a lo largo del relleno sino que se produce en forma localizada en el punto más bajo del mismo, incrementándose hacia arriba). Esto corrobora el incremento de módulo mencionado anteriormente.

3.8 Ejemplo de estabilización de un terraplén para camino en suelos de arcilla muy blanda:

El problema: La nueva autopista de Bangkok Cruzaba un área pantanosa con un suelo muy blando que consiste en arcillas consolidadas, a 20 m de profundidad. Las investigaciones del sitio mostraron que la capacidad de

carga del terreno de cimentación era demasiado baja para apoyar un terraplén tradicional para autopista. La primera idea era por consiguiente ensanchar la base del terraplén con una plataforma grande para distribuir la carga en un área mayor, mientras se involucraban las capas de suelo más profundas y por consiguiente aumentar la capacidad de carga global. Parecía indispensable proporcionar una rigidez suficiente a la base agrandada para disminuir las tensiones verticales y los asentamientos diferenciales. Además de las consideraciones anteriores, era necesario contar con una alta rigidez para la fase de la construcción inicial que permitiera operar en el sitio a la maquinaria pesada sin hundirse en el suelo sumamente suave, que era a menudo anegado.

3.8.1 La solución

El proyecto requirió cuatro capas horizontales de geomalla biorientada para estabilizar este terraplén. Las geomallas se instalaron a 300 mm de separación vertical. Los ingenieros diseñadores, considerando la función estructural fundamental realizada por la geomalla, emitieron especificaciones muy severas para el refuerzo.

Al fabricante de la geomalla le fue exigido proporcionar pruebas del procedimiento de control de calidad durante el proceso de producción y un certificado de conformidad para el producto que se emitiría para este proyecto, incluyendo:

- Certificados de calidad por laboratorios independientes;
- Los resultados de la prueba de creep, para determinar la resistencia a tensión de diseño de las geomallas por un lapso

de 1 año bajo carga constante (1 año era el tiempo necesario para la consolidación del suelo de arcilla bajo el terraplén);

- El módulo a la tensión a 2% y 5% de deformación;
- Garantía de estabilidad contra rayo UV.

Las elegidas por el contratista, con la total aprobación de los diseñadores, fueron las geomallas biorientadas TENAX LBO 302 SAMP. Los ingenieros de TENAX pudieron dar una respuesta apropiada a todos los requisitos del proyecto. Además, el lote completo de la producción para la Autopista de Bangkok (aproximadamente 150,000 m² de geomalla) se probó y certificó por SGS (Societe Generale de la Vigilancia), una empresa internacional especializada en control de calidad y seguridad.

Tabla VII Aspectos de diseño para la geomalla

Propiedad	Dirección	Dirección
Resistencia a la tensión	17.5 kN/m	31.5 kN/m
Elongación	12%	11%

Tabla VIII. Fuerza de diseño a largo plazo durante 1 año de carga

Constante continua a 20° C. de la geomalla TENAX LBO 302

SAMP

Propiedad	Dirección longitudinal(MD)	Dirección transversal (TD)
Resistencia a la tensión	4.70 kN/m	7.80 kN/m

Tabla IX. Características medidas por el control de Calidad en el lote

Completo de la producción de la geomalla

Propiedades medidas	Valor Principal	Desviación Estándar	95% de confiabilidad
Resistencia a la Tensión	TD 34.66 kN/m	1.19 kN/m	32.71 kN/m
Deformación en el punto de fluencia	TD 9.92%	2.57%	----
Modulo Tensión al 2% de deformación	TD 608 kN/m	50.3 kN/m	525 kN/m
Modulo Tensión al 5% de deformación	TD 476 kN/m	29.2 kN/m	429 kN/m
Resistencia a la Tensión	MD 19.8 kN/m	0.59 kN/m	18.85 kN/m
Deformación en el punto de fluencia	MD 19.15 %	0.66 %	----
Modulo Tensión al 2% de deformación	MD 325 kN/m	18.3 kN/m	295 kN/m
Modulo Tensión al 5% de deformación	MD 234 kN/m	9.40 kN/m	180 kN/m

(Para este caso se utilizo TENAX LBO 302 SAMP)

3.8.2 Conclusiones

Las geomallas de TENAX en este proyecto, ha demostrado ser un producto con las características técnicas más altas con propiedades garantizadas: Para esta solución la marca TENAX LBO 302 SAMP pasó las pruebas más severas antes de utilizarse como un elemento estructural para la estabilización de un terraplén en el suelo muy blando. La facilidad de

instalación de geomallas de diferentes proveedores (en esta caso TENAX) le permite al contratista mantener un alto rendimiento de instalación y permitió usar una tecnología innovadora para estabilizar el terraplén, mientras que obtiene ahorros considerables por encima de soluciones tradicionales.

3.9 Comparación entre soluciones

Al aplicar en carreteras se tiene varios beneficios que la solución tradicional no puede proporcionar, tal como disminución de volúmenes de material de relleno en las capas del terraplén. Aplicando geomallas por ejemplo; se logra el incremento en el módulo de la base, que también significa que esta capa ayudará mejor en la distribución de carga sobre la subrasante, lo que crea un mecanismo donde reduce las tensiones verticales en la base y en la subrasante debajo de la línea central de la rueda, lo que dará lugar a deformaciones verticales menores en ambas capas. Como resultado, entonces, de un mejoramiento en la distribución de carga, la forma deflectada de la superficie del camino tendrá menor curvatura. Por otro lado, el confinamiento de la subrasante incrementa su resistencia a la falla por corte.

El uso contribuye al mejoramiento de la sección estructural de los caminos, sin importar la capacidad portante del suelo bajo la misma, y su colocación dentro del paquete estructural mejora el desempeño del pavimento. Por otro lado debido a la capacidad de las geomallas de distribuir la carga sobre un área mayor, su colocación generalmente posibilita la utilización de suelos naturalmente malos para conformar la subrasante del camino. De esta forma, puede reducirse sustancialmente (y muchas veces eliminarse) la excavación y reemplazo del suelo malo por otro de mejor calidad (por lo general importado y, por lo tanto oneroso) o la estabilización química del mismo (método más oneroso aún y cuyos efectos

colaterales en la obra y el medio ambiente aún no han sido definidos en forma aceptable).

Cabe destacar que en todos los casos de obras realizadas alrededor del mundo se ha observado una ventaja técnica y económica sustancial con la colocación de una o más geomallas en las capas estructurales de pavimentos flexibles, por lo que se tienen que realizar los estudios necesarios para incorporarla en las obras de nuestro país.

Uno de los factores de mayor importancia en la comparación entre métodos, es el tiempo de ejecución de la obra, que puede ser oneroso y de manera muy sustancial, que afecten los tiempos de entrega de una obra, en el plazo que requiera la entidad contratante. Con la colocación se mejora la accesibilidad al sitio. Ayudan a acceder a la obra, aún en los casos de mal tiempo o suelos pobres. En terrenos en los cuales usted puede malamente caminar, al colocar una geomalla le da tal firmeza que se puede colocar casi de forma inmediata un relleno y tener una plataforma confiable.

Reduce los cortes y rellenos. Excavar y remover suelos malos es cada vez más costoso, y se complica aun más en casos de áreas contaminadas que requieren disposición especial de los mismos. Por lo que se reducen los costos de excavación, remoción y reposición.

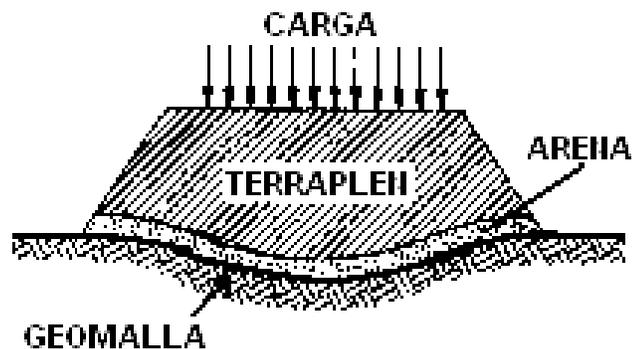
En terraplenes que son construidos sobre suelos saturados puede que ocurran asentamientos, durante o después de la construcción con serias consecuencias para el tiempo de vida útil de la base.

Por lo que su colocación evita que la base granular pueda hundirse en el suelo de fundación, y que puedan ocurrir movimientos verticales y horizontales capaces de formar baches.

En resumen, los efectos de la utilización de un geosintético de refuerzo sobre la capa de subrasante de una estructura de pavimento son los siguientes:

- Incrementos de la capacidad portante del sistema
- Reducción de los espesores de las capas granulares
- Mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales que conforman la estructura de pavimento
- Incremento de la vida útil de la vía
- Aumento de los ejes equivalentes de diseño de la vía
- Incremento del factor de seguridad
- Reducción de los desplazamientos durante la construcción

Figura 13 Terraplén sobre suelo blando con refuerzo de geomalla.



4. MEJORAMIENTO DEL VALOR SOPORTE C.B.R. DE SUELOS UTILIZADOS PARA SUBRASANTE

4.1 Descripción de valor soporte y subrasante

La mayor falla de los pavimentos flexibles, y rígidos se debe principalmente al desplazamiento, es decir la falla “al corte”, de los materiales que componen las diferentes capas, por esta causa se diseña basándose en los ensayos al corte.

La determinación de la resistencia al corte de un suelo, se puede hacer por medio de un ensayo de “corte directo” utilizando la prueba triaxial, o simplemente midiendo la resistencia a la penetración del material.

El método de California fue propuesto por el Ingeniero O.J. Portere en 1929 y adoptado por el Departamento de Carreteras del Estado de California y otros organismos técnicos de carreteras, así como por los Ingenieros del Ejercito de los Estados Unidos de Norteamérica.

Se establece en este método una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo, y su valor relativo como base de sustentación de pavimentos flexibles y rígidos. Este método, si bien es empírico, se basa en un sin número de trabajos de investigación llevados a cabo tanto en los laboratorios de ensayo de materiales, así como en el terreno, lo que permite considerarlo como uno de los mejores métodos prácticos.

El método de California (CBR), comprende los tres ensayos que en forma resumida son:

1. Determinación de la Densidad máxima y Humedad Optima.
2. Determinación de las propiedades expansivas del material.
3. Determinación de la Relación de soporte de California, o CBR.

4.2 Cálculo del C.B.R.

Para el cálculo se debe hacer pruebas de penetración y se traza una curva de carga vs penetración. Si la curva presenta una concavidad inicial deberá corregirse trasladando el origen de la curva mediante la gráfica de una recta tangente.

Para determinar el CBR del material se toma como comparación el valor de la carga unitaria que soporta la piedra triturada (o material de distinto tipo a ensayar). La resistencia a la penetración que presenta la piedra triturada es la siguiente:

Tabla X Penetración/carga unitaria

PENETRACIÓN (PULGADA)	CARGA UNITARIA (libra/pulg ²)
0.1	1,000.00
0.2	1,500.00
0.3	2,300.00
0.5	2,600.00

La resistencia a la penetración de la piedra triturada se toma como base o carga patrón de comparación. El CBR de un suelo es la resistencia a la penetración correspondiente a 0.1" ó 0.2" de penetración expresada en un porcentaje del valor patrón.

Equipo

1. Molde cilíndrico de acero de 7" a 8" de altura y 6" de diámetro. Se le acopla un collarín de extensión de 2" de altura y una base perforada.
2. Disco espaciador de acero de 2 a 1/2" y 5 a 15/16" de diámetro.
3. Pistón o martillo de 10 libras con una altura de caída de 18"

Para medir el hinchamiento del material cuando es sumergido en agua se utiliza:

4. Platillo con un vástago fijo de altura graduada.
5. Trípode con un extensómetro montado de 0.001" de sensibilidad.
6. Prensas de sobrecarga de forma anular y de plomo de 5 libras de peso.

Para el proceso de penetración se utiliza:

7. Pistón de acero de sección circular y de longitud necesaria para penetrar hasta ½" en el suelo compactado.
8. Prensa de carga con una velocidad de 0.05" por minuto.
9. Accesorios: Horno, tamices, balanzas, cronómetro, tanque de agua.

Procedimiento

4.2.1 Preparación de la muestra.

Después de haber realizado un ensayo de compactación, y obtenido la curva de compactación densidad seca – humedad se procede a compactar 03 moldes CBR con tres niveles de energía diferentes y con el mismo contenido de humedad óptimo. El primer molde se compacta con una energía menor al proctor modificado, 25 golpes por 5 capas. El segundo molde se compacta con una energía ligeramente mayor al proctor modificado, 63 golpes por 5 capas.

Compactados los moldes, se retira el collarín de extensión, se enrasa la parte superior del suelo y se voltea el molde retirándose la base metálica y el disco espaciador. Se pesa el molde con la muestra y se determina la humedad y densidad de las muestras.

4.2.2 Expansión del material.

Se coloca un papel filtro sobre la superficie enrasada y se coloca la base metálica perforada y se voltea la muestra. Sobre la superficie libre se coloca otro papel filtro y se monta el platillo con el vástago fijo.

Sobre el platillo se colocará las pesas de plomo. Estas representan el peso de las capas superiores del pavimento. La sobrecarga mínima es de 10 libras equivalentes a un pavimento de 5" de espesor.

Con las pesas de sobrecarga se sumergen los moldes en un tanque de agua, se coloca el trípode con el extensómetro montado y se deja en saturación por 4 días. Se anotan las lecturas para controlar el hinchamiento cada 24 horas.

Después de sumergida la muestra durante cuatro días se debe drenar esta, secándola y posteriormente volteándola y sujetando el platillo y las pesas durante 15 minutos. Se remueve el disco, las pesas y el papel filtro, y se pesan las muestras.

4.2.3 Resistencia a la penetración.

Se colocan las pesas metálicas anulares de plomo. El molde con la muestra y la sobrecarga se coloca debajo del pistón de la prensa de carga aplicando una carga de asiento de 10 libras. Una vez asentado el pistón se coloca en cero el extensómetro que mide la deformación.

Se hinca el pistón manteniendo una velocidad de 0.05" por minuto y se anotan las cargas para incrementos de 0.025" hasta el final de la penetración. Acabada la penetración se retira el molde. Se determina el contenido de humedad de la parte superior, media e inferior de la muestra.

Se grafican los datos obtenidos de carga-penetración.

4.2.4 Conclusiones

Generalmente, los CBR que se obtienen para el diseño de pavimentos, corresponden a una penetración de 0.1" y a un material compactado y saturado. Sin embargo, si las condiciones climáticas, de drenaje, etc. alejan la posibilidad de que el terreno de fundación se sature, el CBR puede determinarse para un estado de humedad distinto al de saturación. En general, podemos establecer que la determinación del CBR, deberá verificarse para las condiciones de humedad y densidad que prevalecerán en la obra a construirse.

El método de California establece una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo, y su valor relativo como base de sustentación de pavimentos tanto flexibles como rígidos.

El CBR de un suelo es la resistencia a la carga unitaria equivalente a 0.1" y 0.2" de penetración, si los CBR para 0.1" y 0.2" son parecidos se toma el CBR de 0.2". El método de California, si bien es empírico, se basa en muchas pruebas de investigación realizados tanto en los laboratorios de ensayo de materiales, así como "in situ", lo que permite considerarlo como uno de los mejores métodos prácticos.

El CBR determina la capacidad de soporte del suelo para fines de pavimentación basado en la resistencia a la penetración, lo que nos lleva a considerar que un CBR muy bajo determina que un terreno no es apto para fines de pavimentación por si solo y se tiene que considerar alguna alternativa para mejorar sus características.

4.3 Capa de subrasante

En cuanto a la capa de subrasante, sus características mínimas deben ser:
Espesor de la capa: 30 cm mínimo.

Tamaño máximo: 7.5 cm (3 pulgadas).

Grado de compactación 95%: del Proctor modificado

Valor relativo soporte: 15% mínimo.

Expansión máxima 5%.

4.3.1 Funciones de la capa subrasante

Las principales funciones que puede desempeñar esta capa son las siguientes:

1. Recibir y resistir las cargas del tránsito, que le son transmitidas por el pavimento.
2. Transmitir y distribuir adecuadamente las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén.

Estas dos funciones son de tipo estructural, y son comunes a todas las capas de las secciones transversales de una vía terrestre.

3. Evitar que cuando el cuerpo del terraplén esté formado de materiales finos plásticos, y que éstos contaminen el pavimento. El tamaño de las partículas deberá estar entre las finas correspondientes al cuerpo del terraplén, y las granulares del pavimento.
4. Evitar que el pavimento sea absorbido por las terracerías, cuando éstas estén formadas principalmente por fragmentos de roca (piedraplenes.) En este caso, la granulometría del material debe ser intermedia entre los fragmentos de roca del cuerpo del terraplén, y los granulares del pavimento (base).
5. Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.
6. Uniformar los espesores de pavimento, principalmente cuando se tiene mucha variación de los materiales de terracería, a lo largo del camino.

7. Economizar espesores de pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande.

Proyecto Geométrico de la Subrasante

La parte superior de la capa subrasante coincide con la subrasante o línea subrasante del proyecto geométrico, la cual, como ya se ha dicho, debe cumplir con las especificaciones de pendiente longitudinal para la obra. Esa línea subrasante marca la altura de las terracerías y, por lo tanto, su espesor; la mayoría de las veces, es mayor que el necesario estructuralmente.

El proyecto geométrico de la subrasante económica debe tomar lo siguiente:

- a. Las especificaciones de la pendiente longitudinal de la obra.
- b. Debe tener la suficiente altura, para dar cabida a las obras de drenaje.
- c. Debe tener la suficiente altura, para que el agua capilar no afecte el pavimento.
- d. Debe provocar los acarreos más económicos posibles.

Por tanto, los elementos que la definen son de carácter topográfico, geométrico y de costos.

4.4 Construcción de la capa subrasante

En cuanto a los procedimientos de construcción, la compactación se debe realizar utilizando el equipo más adecuado, de acuerdo a sus características. Cuando los materiales que se encuentran en las zonas cercanas a la obra no cumplan con las características marcadas en las normas, se requiere estabilizarlos en forma adecuada, ya sea mecánica, químicamente o bien por la incorporación de materiales que otorguen los requerimientos adecuados.

4.5 Descripción de problema que se quiere resolver

Debido a los diferentes problemas de suelos de mala calidad que se tienen en muchos lugares, la construcción de estructuras de pavimento se convierten en problemas de ejecución y de costos elevados, por lo que se requiere que las subrasantes sean lo más firmes posibles, y que a largo plazo no aparezcan asentamientos y lo que es de mayor gravedad, que cuando se proceda a la colocación de las capas superiores, estas se vean deformadas y que no alcancen los parámetros de calidad requeridos.

En si lo que se requiere de una subrasante es que soporte y distribuya las cargas a las cuales estará sometida una vía, las que deben cumplir con una vida útil para la cual se proyecta. Los materiales para subrasante que tienen un valor soporte bastante bajo no son adecuados para la utilización en carreteras, por lo que se hace necesario que se requiera un mejoramiento, el cual se puede dar aplicando un método de sustitución de material, o bien un mejoramiento a través de la aplicación de un material externo, el cual le puede llegar a un mejoramiento de la resistencia al suelo natural y un incremento realmente significativo al valor soporte, evitando así el uso innecesario de recurso de maquinaria y tiempo en la evacuación y colocación de material importado de banco de préstamo.

Por lo que se desea es el incremento de la capacidad del valor soporte de los suelos naturales que serán utilizados para subrasante, dando una gran consistencia a la construcción y evitando que exista algún tipo de asentamiento o bien de contaminación de materiales de sub base y base, que serán colocados como capas superiores.

En general los pavimentos rígidos y flexibles, se diseñan sobre la base de un valor de capacidad portante de la subrasante que fue determinado a través de un estudio de suelos. Es más, la mayoría de los métodos de diseño son aplicables hasta algún valor mínimo de resistencia de la

subrasante. Por lo tanto, cuando las condiciones del suelo de fundación son mucho más débiles que los valores mínimos de diseño, se hace necesario mejorar la capacidad de la subrasante mediante algún tipo de estabilización o mediante la excavación y relleno con material más competente.

4.6 En qué casos se debe mejorar las condiciones de los suelos para subrasante

Las subrasantes deben de ser mejoradas cuando las condiciones y los valores de CBR estén por debajo de los valores admisibles (CBR < 3.00)

4.6.1 Mejoras del terreno para subrasante

Cuando nos encontramos con un terreno, podemos afrontar el problema desde dos puntos de vista bien diferenciados, uno es el de adaptarse a lo que se tiene, y el otro es el de adaptar lo que se tiene a nuestros requerimientos, pero todo siempre visualizado desde un punto de vista económico, ya que a veces será más económico adaptarse al suelo, que realizar una mejora del mismo, y en ocasiones será más económico realizar una mejora del suelo, que adaptarse a él. Una vez que se decide por la opción del empleo de la mejora del suelo, habrá de ver **¿Qué es lo que se tiene?, ¿Qué es lo que se quiere hacer?, ¿Cómo lo va a conseguir? y ¿Cuáles son los medios de los que dispone?**, tanto medios técnicos, constructivos, económicos, y plazos de ejecución, aspecto éste último muy importante y que compite de forma muy estrecha con el aspecto económico.

Volviendo al tema; algunos de los métodos para mejora del terreno que se emplean en la actualidad, son los siguientes:

- Sustitución del terreno.
- Precarga y drenes.
- Vibroflotación y vibrosustitución.

4.6.2 Sustitución del terreno:

Probablemente es uno de los menos empleados, pero su sencillez hace de él, el método más simple, económico y eficaz. Ya que se puede decir de él, que es un método por el cual si no se tiene lo que se quiere, se quita y se pone lo que convenga. Es empleado sobre todo cuando se presenta el problema de las arcillas expansivas, siendo su sustitución la mejor solución.

Precarga: (en terrenos blandos y en arcillas se usan drenes)

Se entiende por precarga al acto de comprimir un suelo mediante una presión aplicada en su superficie, ya sea con sobrecarga de suelo, dados de hormigón, escombros, etc., con el objeto de obtener una mayor resistencia y disminuir los asentamientos postconstructivos.

La carga a ser aplicada será superior a las que se tendrán después en el terreno. En el momento en el que se quitan las cargas, el suelo no vuelve a su estado inicial, ya que se encuentra en la rama de precarga; por tanto, cuando se vuelve a cargar con la carga de servicio, el asentamiento que se produce es menor, en lo que se refiere a incrementos, ya que, en valor absoluto, lo que realmente ha asentado el terreno es lo mismo, es decir, si un terreno al aplicarle una carga va a asentar 5 cm, y ese asentamiento no es capaz de soportar una estructura, lo que se pretende con la precarga, es que asiente inicialmente el terreno, antes de ser cargado, con lo que al aplicar esa carga, el asiento sea inferior y sí sea capaz la estructura de soportarlo.

Como inconveniente está el factor tiempo, ya que para conseguir los asentamientos deseados, las cargas deberán estar por mucho tiempo.

Vibroflotación. (Arenas)

Es uno de los métodos más eficaces para compactar terrenos de débil capacidad de carga en el que la densificación del terreno se consigue mediante la acción combinada de la vibración del terreno y de saturación.

Se emplea para conseguir una mayor capacidad de carga, reduciendo los asentamientos provocados por cargas verticales, se emplea así mismo, para ampliar la resistencia a licuefacción de un terreno (zonas susceptibles de terremotos, en el que las arenas se licuan y se provoca el efecto de arenas movedizas). Se introduce un vibrador en terreno hasta la profundidad que se requiera con ayuda de agua a presión.

Vibrosustitución. (Cohesivos)

Para terraplenes de acceso a puentes, depósitos, edificios, depuradoras, etc., se va introduciendo el vibrador y al mismo tiempo se introduce el material con el que se desea rellenar, el vibrador al mismo tiempo que va desalojando el material existente, va compactando el material de nueva aportación. Las gravas de aportación deben tener ciertas características para que sean drenantes y así se acelera la consolidación y por tanto, se mejora la capacidad portante del terreno.

Es más rápida la consolidación por este método que por precarga-drenes. Con este método el tiempo y equipo que se emplea resulta ser contraproducente en la ejecución de la obra, por los tiempos de entrega que se tienen previstos.

4.7 Aplicación para el mejoramiento de los suelos para subrasante

Hasta hace muy poco tiempo, se venían usando dos métodos de diseño para determinar el espesor de la capa base en caminos no pavimentados y plataformas de trabajo de relleno granular. Giroud y Noiray (1981)

desarrollaron el primero de estos métodos “clásicos”. Tensar Corp. (1986) desarrolló el otro. Ambos métodos emplean la teoría de distribución de esfuerzos para calcular la presión vertical sobre la subrasante ejercida por las cargas de rodadura en la superficie del camino. Se calcula el espesor básico del agregado que hace falta para reducir la presión vertical impartida a la subrasante a un valor igual a su capacidad de carga estimada. El método de Giroud y Noiray (G&N) supone que la presión del neumático se aplica sobre un área rectangular en la superficie y se distribuye de manera uniforme sobre áreas rectangulares progresivamente mayores con la profundidad. Las áreas de distribución están definidas por líneas que descienden alejándose de los cuatro bordes de la carga superficial. La pendiente de estas líneas, desde la posición vertical, se llama ángulo de distribución de esfuerzos. El método Tensar utiliza la teoría de distribución de esfuerzos de Boussinesq para calcular el esfuerzo vertical máximo bajo el centro de un área de carga circular. Ambos métodos consideran la carga por rueda, la presión del neumático y el esfuerzo de corte de la subrasante en los cálculos. Ambos también suponen que el esfuerzo geosintético aumenta efectivamente la capacidad de carga disponible de la subrasante, cambiando el modo de falla de capacidad de carga “local” a “general” además, el método G&N considera el número de aplicaciones de carga y la profundidad de ahuellamiento aceptable.

Sin embargo, ninguno de los dos métodos considera otros factores de manifiesta importancia, tales como las propiedades de los materiales de la capa base y el refuerzo. Desde principios hasta mediados de la década de 1980, había muy pocos datos de investigación y de campo para facilitar la calibración y la verificación de modelos más complejos que incorporan estos parámetros. Aunque Giroud y Noiray, así como Tensar, estaban conscientes de la importancia de las propiedades de los materiales de la capa base y el refuerzo, ninguno de ellos tenía suficientes datos de investigación y de campo para permitir su incorporación en los modelos respectivos. En consecuencia, los diseñadores empleaban ambos métodos, aplicando un

importante grado de cautela en la selección de los parámetros introducidos. Este enfoque lleva a un desempeño eficaz pero no produce el diseño más eficiente.

A lo largo de las dos décadas, su utilización en las aplicaciones para mejorar subrasantes se ha difundido ampliamente. Han sido estudiados en varios programas de investigación. Por lo tanto, hoy por hoy existe un conjunto de información mucho más amplio del que había en la década de 1980. Esta nueva información ha permitido desarrollar a los doctores Giroud y Han un método de diseño mejorado.

Fundamento del método Giroud-Han:

Al igual que los métodos clásicos de diseño de carreteras reforzadas, el Método Giroud-Han se basa en un modelo teórico. Sin embargo, Giroud y Han calibraron el modelo utilizando los resultados de un programa de investigación especialmente desarrollado (Grab 2001) y realizado en North Carolina State University. Este programa de investigación incorporó un número significativo de pruebas de carga de placas cíclicas a gran escala utilizando refuerzo con geomallas (Tensar BX 1100 y BX 1200). La investigación proveyó datos en cuanto a la presión inducida en la subrasante y la deformación de la superficie como función del número de ciclos de carga para combinaciones múltiples del espesor de la base y el refuerzo. Se utilizaron estos datos para calcular el ángulo de distribución de la presión y para cuantificar los efectos del refuerzo y el espesor de la base, tanto en el ángulo de distribución de esfuerzos inicial como en los cambios de ángulo con aplicaciones de cargas continuadas. Tras la calibración, se verificó el método utilizando los resultados de otros datos de investigación y de campo.

Resumen derivado del método Giroud – Han:

El Método Giroud – Han supone un área de contacto circular equivalente de la rueda y un área de presión circular en la subrasante. Por lo tanto, la superficie de distribución de esfuerzos forma un cono en lugar del trapecoide

supuesto por el Método G&N. La presión, p , a cualquier profundidad, h , es entonces

$$P = P / \{\pi \times (r + h \tan \alpha)^2\}$$

Donde P = carga por rueda, r = radio de la huella de rueda equivalente, α = ángulo de distribución de esfuerzos.

La profundidad requerida para distribuir la carga por rueda a una presión igual a la capacidad de carga de la subrasante, $q = m c_u N_c$ es

$$h = (1/\tan \alpha) * \{[P/\pi m c_u N_c]^{1/2} - r\}$$

Donde c_u = esfuerzo de corte no drenado de la subrasante, N_c = factor de capacidad de carga de la subrasante y m = coeficiente de movilización de la capacidad de carga. N_c se toma como 3.3 para capas base no reforzadas, 5.14 para las capas base reforzadas con productos geotextiles y 5.71 para capas base reforzadas con geomallas. La selección de los valores de N_c se basa en la teoría clásica de la capacidad de carga para cimientos superficiales que sugiere que:

- 1) $N_c = 2.4$ para una falla de capacidad de carga “local” (modificado a 3.3 basado en resultados de pruebas de campo en capas base no reforzadas);
- 2) $N_c = 5.14$ para un fallo de capacidad de carga “general” donde hay una interfaz lisa (i.e., geotextil) entre el apoyo de la cimentación y el suelo;
- 3) $N_c = 5.71$ para una falla de capacidad de carga “general” donde hay una interfaz áspera (i.e., geomalla) entre el apoyo de la cimentación y el suelo.

El coeficiente de movilización de la capacidad de carga (m) da cuenta del hecho de que sólo parte de la capacidad de carga completa se desarrolla en cualquier profundidad de ahuellamiento especificada. Este coeficiente es una función de “ r/h ” y “ s ”, la profundidad de ahuellamiento. “ m ” varía desde casi 1.0 para bases de agregado relativamente delgadas con una profundidad de ahuellamiento de 3 pulgadas. Es menos de 1.0 para bases de agregado gruesas y/o profundidades de ahuellamiento menores de 3 pulgadas. Se calibra la función utilizando datos de pruebas.

El ángulo de distribución de esfuerzos es mayor a través de una capa base de alto módulo que a través de un material de menor módulo. Giroud y Han relacionaron empíricamente el ángulo de distribución del esfuerzo inicial, α_1 , a través de una base rígida encima de una subrasante más blanda con el ángulo de distribución de esfuerzos, α_0 , a través de un material homogéneo y con la relación de los módulos (o CBR) de la base y la subrasante de la siguiente manera.

$$\tan \alpha_1 = \tan \alpha_0 [1 + 0.204((E_{bc} / E_{sg}) - 1)] = \tan \alpha_0 [1 + 0.204 ((0.48 \text{CBR}_{bc}^{0.3} / \text{CBR}_{sg}) - 1)]$$

Donde E_{bc} y E_{sg} = módulo de la capa base y la subrasante, respectivamente, y CBR_{bc} y CBR_{sg} = CBR de la capa base y la subrasante, respectivamente. Se utilizaron datos del programa de investigación de North Carolina State University para correlacionar el ángulo de distribución de esfuerzos con el número de ciclos de carga, N , lo cual produjo:

$$\tan \alpha = \tan \alpha_1 / (1 + k \log N)$$

Donde k es una constante derivada empíricamente según el espesor de la capa base y la propiedad de refuerzo de la geomalla j , el módulo de estabilidad de la apertura. Se calibró el coeficiente de movilización de la capacidad de carga y se combinaron las ecuaciones para llegar a la

siguiente ecuación de diseño para el mínimo espesor requerido de la capa base:

$$h = \frac{1.195 + (0.910 + 0.019J - 1.744 J^2)(r/h)^{1.5} \log N}{[1 + 0.204 ((3.48 \text{CBR}_{bc}^{0.3} / \text{CBR}_{sg}) - 1)] 13.7 N_c (s/3)} \left(\frac{P}{[1 - 0.9 \exp(-1.426 \{r/H\}^{1.5})] \text{CBR}_{sg}} \right)^{1/2} - r$$

Donde “s” es igual a profundidad de ahuellamiento en pulgadas, “P” es en libras, “h” y “r” son en pulgadas, $N_c = 3.3$, $J = 0$ para la capa base no reforzada; $N_c = 5.14$, $J = 0$ para la capa base con refuerzo geotextil; $N_c = 5.71$, $J = 0.32 \text{ m} - N/\text{grado}$ para la capa base reforzada con Geomalla (Biaxial BX 1200).

Basado en un estudio de campo de bases no reforzadas, en la aplicación del método Giroud.-Han actualmente se sugiere limitar la relación E_{bc} / E_{sg} del modulo a un valor máximo de 5.0 para dar cuenta de la incapacidad para compactar el material de la capa base eficazmente, sobre subrasante muy blandas. Esto da el término $3.48 \text{CBR}_{br}^{0.3} / \text{CBR}_{sg} \leq 5.0$. Sin embargo, existe evidencia (Webster, 1996) que sugiere que la introducción de un refuerzo rígido de geomallas permite una mejor compactación del material de la capa de base.

Aplicabilidad del método Giroud – Han

En teoría, el método Giroud – Han se puede usar con todos los materiales en las aplicaciones para mejorar subrasantes. La validación con otras investigaciones y el desempeño en el campo indican que el método predice con precisión el desempeño de materiales geotextiles y geomallas cuyas propiedades tienen valores que están dentro de la gama utilizada para la calibración del modelo.

La eficacia de la geomalla en las aplicaciones para mejorar subrasantes depende de varios factores. La geomalla debe tener la capacidad de distribuir cargas eficazmente sobre la subrasante (i.e., de manera amplia y pareja). Esto entraña una interacción compleja de geomalla, suelo y base. Mediante una experiencia extensa con esta aplicación y el examen de las investigaciones pasadas (Webster, 1992), se ha llegado a la conclusión de que las siguientes propiedades tienen un impacto en la capacidad de la geomalla para mejorar la subrasante:

Tabla XI Propiedades de geomallas

Propiedad de la geomalla	Observación	Gama de validación del Método Giroud – Han
Tipo de geomalla	Las geomallas de capa simple (extruidas y tejidas) se colocan fácilmente sin dañar las uniones ni separarse en capas. Los productos de capa simple tienen mejor desempeño que los productos de capas múltiples o tiras soldadas. Los productos de capas múltiples tienden a separarse durante la colocación.	El Método Giroud – Han fue validado con productos de capa simple
Módulo de estabilidad de la abertura	La investigación indica fuertemente que esta propiedad captura eficazmente la interacción compleja del módulo de tracción inicial, la rigidez, el confinamiento y la estabilidad. Las geomallas con mayor estabilidad de abertura tienen mejor desempeño.	El Método Giroud – Han ha sido validado para valores de hasta 6.5 cm – kg/grado
Forma de las costillas	Las costillas cuadradas o rectangulares proporcionan mejor interacción con el suelo y la sub base. Los productos con costillas cuadradas y rectangulares tienen mejor desempeño que los que tienen costillas redondeadas.	El Método Giroud – Han fue validado con productos que tienen costillas rectangulares.
Espesor de las costillas	Las costillas más gruesas proporcionan mejor interacción con el suelo y la base. Los productos	El Método Giroud – Han fue validado con productos con un

Continuación

	con costillas más gruesas tienen mejor desempeño que los que tienen costillas más angostas.	espesor de costilla igual o mayor a 0.03 pulgadas.
Tamaño de las aberturas	Las aberturas de las geomallas deben ser lo suficientemente grandes como para permitir que los agregados y el suelo penetren a través de ellas, pero lo suficientemente pequeñas como para proporcionar una trabazón eficaz. La investigación indica que una abertura de entre 0.9 y 1.5 pulgadas tiene el mejor desempeño en carreteras	El Método Giroud – Han fue validado con productos cuyas aberturas tenían dimensiones de 0.9 a 1.5 pulgadas en ambos sentidos (Maquina = MD y Transversal = CM)
Eficiencia de las uniones	La investigación indica que las uniones de las geomallas deben ser lo suficientemente fuertes como para confinar las partículas de la base eficazmente. Las geomallas con mayor eficiencia de unión tienen mejor desempeño.	El Método Giroud – Han fue validado con productos con una eficiencia de unión igual o mayor al 90% de la resistencia máxima a la tracción.

En resumen:

El método Giroud – Han tiene base teórica y calibración empírica. Se prevé que producirá predicciones precisas del desempeño en el campo para condiciones de carga y propiedades de base y subrasante similares, así como para las geomallas específicas utilizadas en la calibración y validación del modelo.

4.8 Guía básica para el diseño para el mejoramiento de subrasante bajo carga dinámica

Como ya se ha visto el suelo de una subrasante puede fallar bajo carga de dos maneras: a través de una falla localizada por corte o por la falla de la capacidad portante profunda. La falla localizada por corte, o punzonamiento, ocurre generalmente con la forma de una deformación severa en terrenos blandos saturados cuando la carga excede la resistencia al corte de la subrasante. La subrasante por debajo de un terreno sin reforzar fallará por

punzonamiento al llegar a un nivel de tensión de alrededor de la mitad de la capacidad portante última del suelo.

El refuerzo de capas de relleno con Geomallas sobre suelos blandos puede prevenir la falla localizada por corte de la subrasante y, por lo tanto, incrementar significativamente su capacidad portante. Además, la Geomallas refuerzan el relleno granular mediante el confinamiento de las partículas, rigidizando la capa de base y permitiendo una mejor distribución de carga. El efecto combinado de prevenir la falla por punzonamiento y de reforzar permite la colocación y compactación de capas de relleno (o bases) sobre condiciones de subrasantes relativamente inestables.

Actualmente, en la práctica se utilizan las ecuaciones de Boussinesq para estimar la tensión máxima aplicada a la subrasante ubicada directamente por debajo del área cargada. El espesor del relleno, entonces, se calcula de manera tal de prevenir la falla por capacidad portante de la subrasante, usando el criterio de falla establecido por Rodin.

Rodin analizó los mecanismos de falla de suelos finos bajo cargas de ruedas. En su análisis, la falla por capacidad portante se debe a la deformación plástica del suelo y puede ser predecida por la ecuación:

$$1) \quad q = 6.2 \cdot c$$

Donde “q” es la capacidad portante última del suelo y “c” es la resistencia al corte del suelo basada en el criterio de falla de Coulomb (que describe a la resistencia al corte del suelo en términos de su cohesión).

Sin embargo en suelos blandos Rodin notó que las cargas de ruedas causaban tensiones de corte horizontales altas que ocasionaban sobre tensiones locales en la subrasante, dando como resultado una deformación

plástica del suelo. Notó, además, que esta deformación plástica comenzaba cuando:

$$2) \quad q_u = 3.1 \cdot c_u$$

Donde “ q_u ” es la capacidad portante sin reforzar para fallas localizadas por corte y “ c_u ” es la resistencia al corte No Drenada del suelo de la subrasante.

Ahora, las Geomallas pueden proveer una plataforma de trabajo firme y el confinamiento del agregado o relleno para prevenir fallas por corte localizadas en la subrasante. Además, las geomallas son capaces de tomar las tensiones de corte horizontales generadas por las cargas de ruedas, eliminando su propagación hacia la subrasante. Por lo tanto, con las geomallas, la capacidad portante de diseño del suelo de la subrasante puede incrementarse hasta el valor:

$$3) \quad q_r = 6.2 \cdot c_u$$

El proceso de mejoramiento de la capacidad portante de 6.2 se atribuye a la resistencia al corte agregado por la geomalla, y al mejoramiento en la capacidad de distribución de carga del material de relleno a través del mayor confinamiento, rigidez y refuerzo brindado también por la geomalla. El incremento en el factor de capacidad portante producido por el uso de geomallas, permite reducciones de 30% – 50% del relleno requerido, dependiendo de la capacidad portante de la subrasante.

Para determinar el espesor de relleno requerido (reforzado o sin reforzar) para limitar las tensiones de carga inducidas en la subrasante al nivel admisible pueden re-escribirse las ecuaciones de Boussinesq (despejando el valor del espesor).

Por otro lado, de acuerdo al tipo de relleno que se usará, será también necesario chequear la capacidad portante del relleno compactado con respecto a las cargas de construcción con el fin de determinar si se necesita un material de mayor calidad para la capa superior del espesor total requerido.

4.9 Parámetros de diseño

El diseño de rellenos reforzados con geomallas requiere el conocimiento de las siguientes variables:

Datos necesarios

- c_u = Resistencia al corte no drenada del suelo de la subrasante.
- c_f = Resistencia al corte del material de relleno.
- P = Carga dinámica por rueda simple, doble o tandem.
- P'' = Presión de inflado de las llantas (ruedas simples o duales) o presión de contacto bajo la carga P (ruedas tandem).
- A = Espaciamiento de ejes (sistemas tandem)
- B = Ancho total de ruedas duales (sistemas tandem)

Parámetros a calcular

- ❖ R = Radio Aparente de Área Cargada.
- ❖ Q_u = Presión permitida por la subrasante, con relleno sin reforzar (equivalente a la capacidad portante aparente)
- ❖ Q_r = Presión permitida por la subrasante, con relleno reforzado (equivalente a la capacidad portante aparente).
- ❖ Z_u = Espesor de relleno o agregado requerido para soportar las cargas dinámicas con relleno sin reforzar.
- ❖ Z_r = Espesor de relleno o agregado requerido para soportar las cargas dinámicas con relleno reforzado.

Pasos a seguir en el cálculo

Paso 1

Determinar la resistencia al corte no drenada, c_u de la subrasante (ver Tabla 1). Para suelos no cohesivos, determinar el ángulo de fricción interna del material de relleno.

Paso 2

Calcular la capacidad portante admisible, Q , en la superficie de la subrasante para el caso de rellenos reforzados y sin reforzar.

Si el suelo es **Cohesivo**:

$$Q_u = 3.1 \cdot c_u \text{ (Sin reforzar)} \quad (1)$$

$$Q_r = 6.2 \cdot c_u \text{ (Reforzado)} \quad (2)$$

Si el suelo es **No Cohesivo**

$$Q_u = \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot B_1 \cdot N_\gamma + 2D \cdot N_q \text{ (Sin reforzar)} \quad (3)$$

$$Q_r = 2.0 \cdot Q_u \text{ (Reforzado)} \quad (4)$$

Donde:

- B = Ancho o Diámetro del Área Cargada
- γ_1 = Peso unitario suelo de subrasante
- γ_2 = Peso unitario del relleno
- D = Profundidad del Relleno
- Φ = Ángulo de Fricción interna del suelo de subrasante
- $N_\gamma N_q$ = Coeficiente en función de Φ (ver Tabla 2)

Paso 3

Determinar la carga de diseño P, la presión y el área de contacto. Para vehículos con cubiertas de goma o caucho, la carga de diseño "P" será la carga por rueda (es decir 1/2 de la carga por eje) y el radio de contacto aparente "R" de la carga será:

$$R = (P / 3.14p)^{0.5} \quad (5)$$

Donde el valor de la presión de contacto "p" se asume como:

-Igual a la presión de inflado de las gomas, para ruedas simples o duales.

- $p = P / (a \cdot b)$ para sistemas Tandem.

Paso 4

Calcular el espesor del relleno sin reforzar, "Z_u", requerido para prevenir la falla por capacidad del suelo de la subrasante. Para esto, utilizamos la expresión de Boussinesq (de donde despejamos el espesor), es decir:

$$Z_u = R / [\{ 1 / (1 - q_u / p)^{0.67} \} - 1]^{0.5} \quad (6)$$

Paso 5

Repetir el paso 4 , pero ahora para determinar el espesor requerido par el relleno reforzado, "Z_r", sustituyendo la presión portante admisible, "Q_r", para el caso reforzado, en la ecuación (6):

$$Z_r = R / [\{ 1 / (1 - Q_r / p)^{0.67} \} - 1]^{0.5} \quad (7)$$

Paso 6

Verificar que la capacidad soporte del relleno sea suficiente como para soportar las cargas impuestas durante la construcción.

Esta capacidad soporte se calcula como:

$$Q_f = 3.1 \cdot c_f \quad (8)$$

Siendo “ c_f ” la resistencia al corte del relleno, que puede determinarse de la misma forma que se hizo en el Paso 1 para la subrasante o puede ser estimada usando los gráficos típicos de Clasificación de Suelos, con el valor correlativo dado por la Tabla XII.

Si la resistencia “ Q_f ” es satisfactoria (es decir que es mayor a la presión de contacto impuesta por la carga), ir directamente al Paso 10.

Si, en cambio, la presión en la superficie del relleno va a ser mayor que la que éste es capaz de soportar, será necesario usar un material de mayor capacidad portante para la porción superior del relleno. Este material formará parte del espesor requerido total del relleno y su altura será independiente del refuerzo o no del relleno (siempre y cuando no se considere un segundo refuerzo de geomalla en la interfase entre la base y el relleno).

Como regla práctica, este material superior de la base debería tener un CBR mayor que la décima parte de la presión de contacto ($CBR > p / 10$).

Paso 7

Determinar el espesor requerido del material de mayor capacidad portante (“Base estructural”) con el fin de prevenir la falla del relleno subyacente.

Para esto, repetir PASOS 1 a 4 sustituyendo la resistencia al corte del relleno, “ c_f ” en lugar de la subrasante en la ecuación (1).

Paso 8

Sustraer el espesor requerido de la “Base Estructural” calculado en el PASO 7 del espesor total de relleno calculado en los PASOS 4 Y 5 (sin reforzar y reforzado respectivamente).

Paso 9

Determinar la carga máxima admisible de construcción sobre cada capa intermedia de relleno y/o sobre la superficie del mismo antes de la colocación del material de la base superior.

Para eso se pueden usar las siguientes ecuaciones:

$$p_a = q / \{ 1 / [1 + (kR/z)^2]\}^{3/2} \quad (9)$$

$$P_a = p_a \cdot (3.14 \cdot R^2) \quad (10)$$

Paso 10

Comparar los costos de los diseños reforzados y sin reforzar.

Perfiles resultantes

En definitiva, los perfiles resultantes del diseño para el área de trabajo serán de la siguiente manera:

Figura 14. Relleno no reforzado:

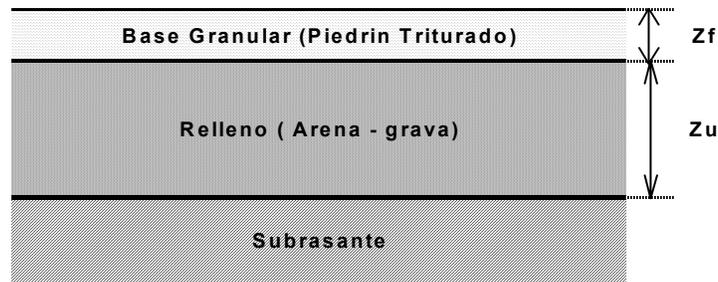
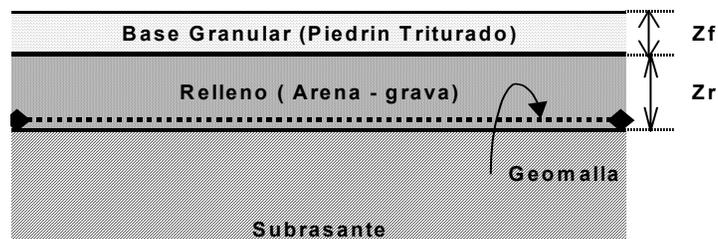


Figura 15. Relleno reforzado:



4.10 Criterios para uso de geotextil por debajo de la geomalla

El uso de geotextiles será necesario sólo en el caso en el que la granulometría del material de relleno no esté bien graduada y presente diferencias importantes con la del material natural de la subrasante. En tal caso, deberá colocarse un geotextil por debajo de la geomalla para que actúe de “separador” y evite la filtración del material fino de la subrasante entre las partículas del relleno. De todas maneras, cabe aclarar que esa será la única función del geotextil, ya que éste no aportará ningún tipo de refuerzo al suelo, quedando dicha función en forma exclusiva para la geomalla.

Por otro lado, si se selecciona un material de relleno no bien graduado (de manera tal que éste pueda actuar como filtro), el poder de separación de las geomallas será suficiente y no se necesitará ningún tipo de geotextil. Estaremos en estas condiciones cuando se cumplan los siguientes requisitos:

Para suelo natural normal:

$$(D15 \text{ Relleno}) / (D85 \text{ Subrasante}) < 5$$

Para suelo natural con arcilla plástica:

$$(D15 \text{ Relleno}) / (D85 \text{ Subrasante}) < 10$$

Además, si el material es de alta plasticidad, también deberá verificarse que:

$$(D50 \text{ Relleno}) / (D50 \text{ Subrasante}) < 25$$

Si las granulometrías cumplen con estos requisitos, entonces la colocación de geotextil será innecesaria.

Análisis económico (Paso 10)

El análisis económico involucrará el estudio de costos comparativos entre las alternativas de relleno con o sin refuerzo. La alternativa con refuerzo dará como resultado menores espesores de relleno y, por lo tanto, menores costos en excavación y colocación del material (que, a su vez, quizás deba ser importado de otras partes debido a no contar con buenos suelos en el sitio de la obra, con el consiguiente sobre costo dado por el flete), pero, por otro lado, sumará el costo de la Geomalla (para el refuerzo) y del eventual geotextil (en caso de que haya granulometrías muy diferentes entre subrasante y relleno).

Para analizar, entonces, la ventaja económica del refuerzo con Geomallas se deberá tener en cuenta los siguientes factores:

1. Necesidad y magnitud de excavación (es decir, si el relleno se colocará sobre el terreno natural o si se excavará, y cuánto, una porción de la subrasante para colocarlo allí).
2. Costo del Material de Relleno (por m^3)
3. Costo del Flete del Material de Relleno (en caso de que deba ser importado, por m^3)
4. Costo de Colocación del Material de Relleno (por m^3)
5. Costo de Excavación (por m^3)
6. Costo de Geomalla (por m^2)
7. Costo de Geotextil (en caso de resultar necesario, por m^2)

Calculando, entonces, los ahorros en volumen de movimiento de tierra (excavación + relleno) por unidad de área producidos gracias al refuerzo con geomalla, podemos estimar la reducción de costo en este renglón. Luego, si a este valor le restamos el costo de la Geomalla y del eventual Geotextil (si es que se necesita), obtendremos el ahorro neto producido por el refuerzo por unidad de área de trabajo.

Tabla XII. Correlación de valores de resistencia al corte de suelos cohesivos

RESISTENCIA AL CORTE psi (kg / cm ²)	SPT (N°Golpes/Pie)	ENSAYOS Penetración (c/Cono)	CBR	CONSISTENCIA ESTIMADA
< 1.7	<2	< 0.24	< 0.4	Muy Blando (se escurre entre los dedos cuando se lo aprieta)
<0.12				
1.7 - 3.5	2-4	24 -48	0.4 -0.8	Blando (es moldeado con una leve presión de los dedos)
0.12 - 0.24				Mediano (es moldeado con una presión fuerte de los dedos)
3.5 - 6.9	4-8	48 -96	0.8 - 1.6	
0.24 - 0.48				Denso (Se marca con los pulgares, pero es penetrado con gran esfuerzo)
6.9 - 13.9	8.-15	96 - 192	1.6 - 3.2	
0.48 - 0.96				Muy Denso (se marca con la uñas del pulgar)
13.9 - 27.7	15 - 30	192 - 384	3.2 -6.4	
0.96 - 1.91				Duro (se marca con dificultad con la uña del pulgar)
> 27.7	>30	>384	>6.4	
> 1.91				

Tabla XIII Valores de coeficientes N_ϵ y N_q para determinar capacidad portante en suelos no cohesivos

Φ	N_ϵ	N_q
15	1.0	2.6
20	1.0	3.3
25	2.0	4.8
30	3.9	7.0
35	7.5	10.2

4.11 Resultados de aplicación

A continuación se presentan diferentes aplicaciones en el mejoramiento de subrasante, en donde se han obtenido excelentes resultados con diferentes tipos de material de refuerzo.

Estabilización: Caso de aplicación

**Ampliación y reconstrucción del camino de Tárifa-Mandinat-Liwa contrato a
2A Tarifa de Intercambio**

PRODUCTOS: Geomallas bi-orientadas TENAX LBO 303 SAMP

LUGAR / FECHA: Tarif-Madinat-Zayed-Liwa Emirate of Abu Dhabi

CLIENTE: Departamento de obras públicas del Emirato de Abu Dhabi

PROYECTISTA: Ove Arup & Partners

CONTRATISTA: Saif Bin Darwish Civil Engineering Contractor

El problema

Con el propósito de incrementar la capacidad de la autopista principal que conecta a los Emiratos de Abu Dhabi con la frontera de Arabia Saudita, se decidió ampliar la sección de cuatro a ocho carriles. Debido a las pobres condiciones del suelo de la base y al costo de importar el material de relleno, los diseñadores buscaron soluciones de geotecnia para incrementar la capacidad de carga del subsuelo y disminuir los espesores del material de relleno que normalmente se requieren. Debido a la naturaleza hostil del material de relleno, era necesario escoger un geosintético que demostrara un alto grado de resistencia a daños mecánicos. El suelo de la sub-base existente fue identificado como un suelo de baja capacidad de carga. Otro aspecto importante era que el proyecto se ejecutara a tiempo y que fuera una instalación sencilla.

La solución

Figura 16. Los rollos de las geomallas pueden ser de 100 m largo. las geomallas son ideales para proyectos de autopistas en cualquier tipo de suelo



Para estabilizar los terraplenes y evitar los asentamientos diferenciales los ingenieros consultores optaron por una geomalla extruida de polipropileno, ofreciendo alta resistencia de junta y resistencia a daños mecánicos. El mismo producto también fue utilizado para estabilizar y disminuir los espesores de relleno del camino.

Se encontró que la geomalla LBO 303 SAMP llena los requerimientos del proyecto y de diseño, el producto fue propuesto por el contratista y aprobado por los ingenieros. Las geomallas LBO 303 SAMP están específicamente diseñadas para el refuerzo de base distribuyendo la carga uniformemente. Las geomallas refuerzan al suelo a través de dos principales mecanismos: Resistencia a la tensión y el trabe de partículas que previene el desplazamiento lateral de suelo.

La ampliación se hizo a cada lado del camino (Fig. 16). La geomalla LBO 303 SAMP fue instalada en la base y sobre el relleno de piedra, entre 25 cm y 40 cm de espesor dependiendo del área, tendiendo el material y compactando.

Para evitar deslizamientos las geomallas LBO 303 SAMP fueron instaladas en todo el ancho de la nueva base, rellenando y compactando con material granular. Más de un total de 700,000 m² de la geomalla LBO 303 SAMP fue instalado en este proyecto.

Figura 17. Fácil de desenrollar y traslapar cuando se instala la geomalla.



Figura 18. Las geomallas están diseñadas para trabajar con el trabe de partículas en material friccionante y no sufren daños durante la colocación.



Conclusiones

Los consultores y los contratistas quedaron complacidos con la eficiencia de los geosintéticos.

- La geomalla LBO 303 SAMP incluida en el diseño, permite a los ingenieros:
- Incrementar la capacidad de carga del subsuelo.
 - Disminuye los espesores del material de relleno sin reducir la vida útil a largo término.
 - Reducción en el tiempo de construcción debido a la fácil instalación de la geomalla LBO 303 SAMP.
 - Reducción en el costo debido al ahorro en la reducción del material especial para relleno.

Geomallas bi-orientadas multi-capa TENAX MS para estabilizar el suelo fangoso con el que se cubrió un relleno en Texas

Figura 19. Área Anegada de Agua



PRODUCTOS: Geomallas bi-orientadas multi-capa TENAX MS 500

LOCALIZACIÓN: Grand Prairie, Texas

PROPIETARIO: Autoridad del río Trinity

INSTALADOR: Brown & Lambrecht Earthmovers

INGENIERÍA: Freese & Nichols

El problema

En la modificación del proyecto de la gran Pradera, las autoridades del relleno de Río Trinity en Texas enfrentaban muchas dificultades en el diseño y la construcción. La planta de tratamiento de agua de 3700 m³ por día estaba produciendo lodos a un ritmo mayor al originalmente anticipado y el 50% de las áreas del relleno estaban saturadas. Se requería mayor capacidad. Además, las celdas del relleno de 80 hectáreas habían alcanzado su capacidad y era necesario cerrarlo. Se propuso una trinchera para interceptar los lixiviados precolados y se diseñó un sistema de cubierta para prevenir la infiltración. En la parte superior del relleno existían suelos inestables y completamente saturados. ¿Cómo podría el contratista alcanzar la compactación adecuada en la capa de 0.90 m de arcilla con una sub-base inadecuada? ¿Qué hacer con respecto a los asentamientos diferenciales y los huecos o vacíos en el relleno? ¿Cómo evitar la posibilidad de la formación de grietas en la capa de arcilla que permitan la infiltración?

La solución

Figura 20. Geosintético instalado en área de trabajo



Los ingenieros del proyecto, Freese and Nichols, especificaron el uso de una mezcla en sitio de suelo y lodo para llevar la cubierta a la elevación adecuada e inclinada para permitir el drenaje, pero el primer problema para lograr esto era la inestabilidad de la cubierta. En la primera intervención del contratista, gran cantidad de su maquinaria y equipo quedaron enterrados.

Por varias razones, se incorporó un sistema de doble capa de geomalla multi-capa MS 500. El primer problema que resolvió la geomalla MS 500 fue ayudar a alcanzar la compactación adecuada en la capa de arcilla; la excelente capacidad de trabe (Interlock) de la geomalla MS 500 utilizada en este proyecto, ayudó a alcanzar la compactación requerida del 95%. MS 500 también sirvió para estabilizar y reforzar la mezcla de suelo blando y saturado. Y probablemente lo más importante, TENAX MS 500 previene el desarrollo de posibles futuras grietas que puedan propiciar infiltración.

Conclusiones

La geomalla MS 500 multi-capa ha probado en varias ocasiones sus ventajas para este tipo de proyecto. Las geomallas MS 500 ahorraron la importación de material de banco, permitiendo utilizar el material del sitio. Se ahorraron tiempos de ejecución gracias a la versatilidad de la geomalla MS 500, que puede ser instalada en condiciones de humedad, inclusive en presencia de agua como en este caso.

Estabilización: Aplicación caminos pavimentados y no pavimentados

Muchas veces se necesita de la construcción de un camino pavimentado o no pavimentado sobre un suelo blando saturado, donde pueden presentarse asentamientos durante o después de la construcción, con serias consecuencias para la vida útil del camino.

Figura 21. Geosintético instalado



Bangkok (Tailandia) Estabilización en la base de una autopista construida normalmente sobre arcilla consolidada y compresible, con geomallas BIAxIAL

Figura 22. Geosintético instalado sobre subrasante



Altshausen (Alemania) Estabilización integral del subsuelo con geotextiles no tejidos y geomallas BIAxIAL

La capa base, con estructura de material granular, puede hundirse con el asentamiento del suelo, teniendo movimientos horizontales y verticales capaces de formar grietas. Para evitar este fenómeno, es necesario colocar una o más capas de refuerzo con geomallas considerando la capacidad para confinar los agregados y distribuir las cargas. Los geosintéticos permiten la reducción del espesor de la capa base e incrementan la vida de servicio de la estructura aunque se utilice material de relleno de baja calidad. El uso de la geomalla BIAxIAL minimiza la deformación horizontal de los agregados de la capa base, limitando su deterioro y conservando el espesor

Figura 23. Esquema de cómo trabaja la geomalla



La geomalla BIAXIAL es una malla estructural teniendo aperturas en las que el material granular es confinado por trabe. La reducida deformación en la capa base limita la formación de “fracturas” en los elementos encontrados debajo de la misma base. En suelos de arena de grano fino o arcillas, es recomendable el uso de una geomalla fina multi-capas.

Cuando el tamaño de los granos característicos de los agregados del suelo base no son los adecuados para funcionar como un filtro de la sub-base, es necesario prever, como resultado de los ciclos de compresión y relajación, una migración de finos a la capa superior. Bajo estas circunstancias, el uso del geocompuesto, elaborado con refuerzo de geomalla adherida a una capa de geotextil no tejido y funcionando como una capa separadora, puede prevenir este efecto. La trabazón entre la geomalla y las partículas de suelo se garantiza gracias a las altas deformaciones locales de los geotextiles en las aberturas entre las mallas. Si el camino es construido en un área con un alto contenido de agua, colocando un filtro/dren con el geocompuesto en la base de la estructura, se proporciona un excelente medio para drenarla, previniendo hundimientos en los rellenos y contribuyendo a la distribución de cargas.

Ejemplo esquemático

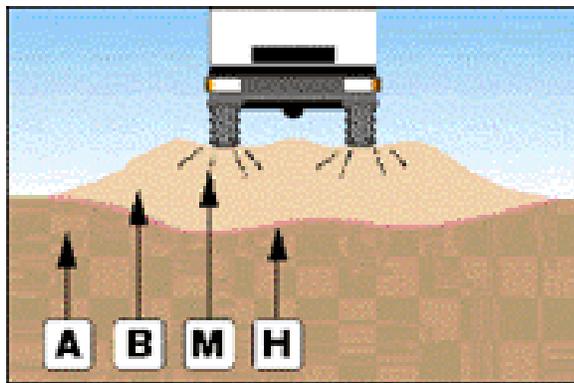
El problema

Si un camino pavimentado o de terracería se va a construir sobre un suelo blando, pueden aparecer problemas ocasionados por el tráfico durante o después de la construcción. La capa base se puede mezclar con el suelo blando o se pueden presentar movimientos horizontales y verticales de la base, produciendo fallas profundas y grietas en la superficie que afecten al tráfico. Esto se puede evitar incrementando la capacidad de carga del suelo de cimentación y limitando los movimientos del suelo base. Existen varias técnicas para incrementar la capacidad de carga en suelos blandos: una de

estas es reforzar la base de tal forma que la masa del suelo pueda resistir mayores niveles de esfuerzo cortante y la transmisión de éstos esfuerzos al suelo blando sea enormemente reducida.

La base de un camino sobre sub-base blanda se deformará rápidamente, ocasionando grietas en la superficie y dificultando el tránsito de vehículos

Figura 24. Deformaciones de subrasante



Leyenda:

A – Suelo blando

B – Relleno granular

M – Ruptura del suelo

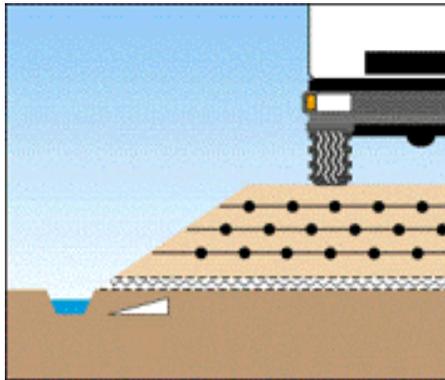
H – Perfil deformado

La solución

La instalación de geomallas bi-orientadas aumenta considerablemente la capacidad de carga del suelo. La construcción usualmente incluye excavación de material blando, colocando las geomallas y rellenando con material granular a la profundidad requerida. Alternativamente, cuando el relleno se realiza con suelos más finos, es posible reforzar con geomallas biaxiales, de acuerdo a las condiciones del proyecto. Las geomallas refuerzan la base del camino y limitan los movimientos horizontales y verticales del suelo.

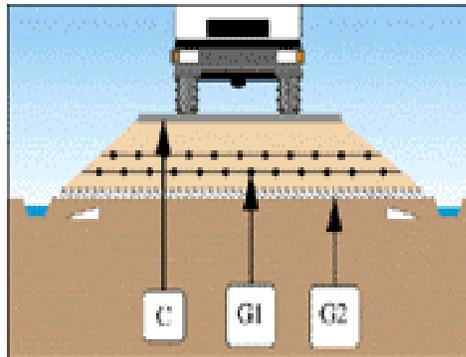
De esta forma, las geomallas mejoran considerablemente la capacidad de carga de la base para un mismo espesor o lo reducen para una misma capacidad de carga. Cuando el suelo de cimentación es muy fino y blando, es aconsejable usar un geocompuesto en la interfase con la sub-base, para obtener tanto refuerzo como separación. Esta solución además evita la introducción de finos en la base. Cuando el nivel freático se acerca a la superficie o se prevén problemas de drenaje, un geocompuesto puesto al nivel más bajo proporciona el caudal de desagüe requerido, separa el relleno del suelo fino y contribuye a la distribución de cargas.

Figura 25. Geomalla instalada en terraplén



Geomallas con poca separación, refuerzan considerablemente la base del camino, mientras que los geocompuestos mantienen la separación entre el material de relleno y la sub-base mientras la provee de drenaje.

Figura 26. Distribución de geosintéticos en la base

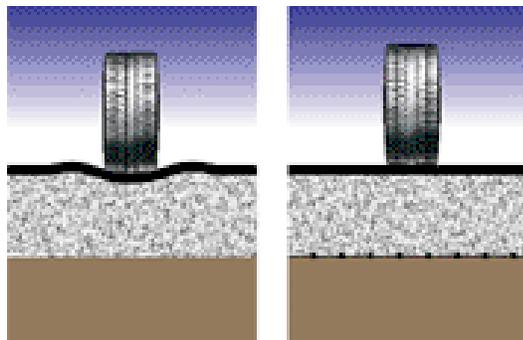


Los geosintéticos proveen el drenaje, la separación y el refuerzo requeridos para estabilizar la base de caminos sobre suelos blandos.

Nomenclatura

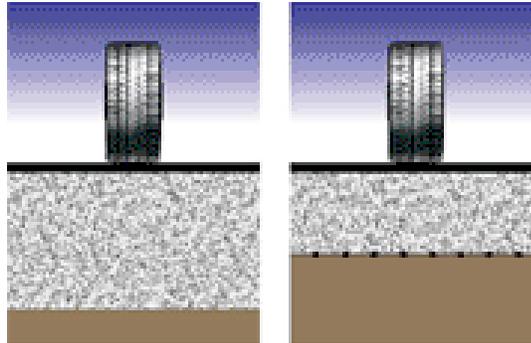
- C – Pavimento rígido o flexible
- G1 – Geomalla bi-orientada
- G2 - Geocompuesto

Figura 27. Comparación de deformaciones



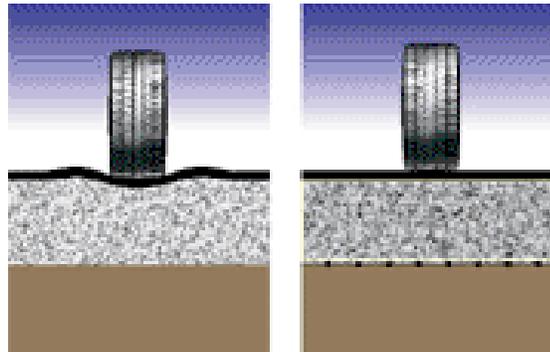
Disminuir el avance de las fallas en caminos con pavimentos flexibles: El período de vida puede aumentar hasta 10 veces sin cambiar las propiedades de los componentes del camino.

Figura 28. Comparación de espesores de pavimento



Disminuir el espesor de los agregados en la capa base sin afectar su funcionamiento ni su capacidad estructural.

Figura 29. Comparación de igual espesor con y sin refuerzo



El empleo de materiales de relleno disponiendo de propiedades estructurales y de drenaje inferiores a las tradicionalmente requeridas sin modificar en conjunto el espesor del camino.

5 APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN UNA BASE

5.1 Casos donde se hace necesario el mejoramiento de una base

En el campo de la infraestructura vial, uno de los problemas que se presenta con mayor frecuencia es el deterioro prematuro de las vías, causado por factores relacionados con las características y las propiedades de los materiales que conforman la estructura de la vía y con las condiciones de carga que sobrepasan los valores de diseño.

En donde se observa que puede existir migración de material de base hacia las capas inferiores se debe considerar un mejoramiento para que la cantidad de material colocado en la capa de base no vea reducido su espesor y mantenga la integridad de los materiales y así mantener el funcionamiento fundamental con los cuales fue diseñado. Al realizar este mejoramiento se obtiene como resultado inmediato un aumento de la vida útil de la vía, considerado en el diseño, mejorando las condiciones de servicio y estabilidad de las obras. Cuando se presentan zonas con grandes deformaciones durante el proceso de compactación se hace necesario que exista un elemento que absorba los esfuerzos a tensión y garantice la estabilidad total de la base.

En las zonas donde los cambios climáticos son bastante críticos durante la noche y el día, se debe tener previsto que se presentara el fenómeno de una fisuración refleja, la cual se debe evitar en todo lo posible. La necesidad de refuerzo de una base puede plantearse por:

- A) Agotamiento estructural estimado por inspección visual, por exploración, ya sea efectuada ésta con equipos de gran rendimiento o por medio de ensayos puntuales, o por la combinación de ambos procedimientos de inspección.
- B) Previsible crecimiento brusco del tráfico

C) Excesivos gastos de conservación

En el primer caso el refuerzo resulta necesario por haberse agotado, o estar a punto de agotarse, la vida útil de la base, aunque se haya cumplido la hipótesis del proyecto. (Tiempo para el cual fue diseñado.)

En el segundo caso, aunque a la base le pueda quedar vida útil bajo las condiciones para las que fue proyectada, un incremento brusco tanto en la cantidad y calidad del tráfico modifica estas condiciones, lo que hace necesario el estudio de la procedencia de un refuerzo.

El tercer caso está íntimamente ligado al planteamiento de una estrategia de conservación de la red de carreteras, en la que se determinen cuáles son los gastos de conservación considerados normalmente para cada tipo de base que permita fijar el umbral a partir del cual un incremento de estos gastos, en un determinado tramo de carretera, indica un comportamiento inadecuado de su base.

Inspección visual. Su interpretación

Además de la vigilancia e inspección periódica realizadas por el personal encargado de la conservación de carreteras, es necesario que las bases sean inspeccionadas, al menos una vez al año, por un Ingeniero especialista en la materia en la época más adecuada, de acuerdo con las características climáticas de cada zona.

Esta inspección deberá atender no sólo a la base, sino todo lo que pueda tener influencia en su estado, tal como:

- Cunetas, desagües, drenajes, etc.
- Hombros
- Plataformas y taludes.

Los desperfectos observados en la base se clasificaran en tres grupos:

- Fallas estructurales localizadas.
- Desperfectos superficiales que no afectarán a la resistencia estructural.
- Desperfectos generalizados indicativos de agotamiento estructural.

Los primeros, por muy importantes que puedan parecer, no implican por sí solos necesidad de refuerzo, sino de reparaciones localizadas. En caso de que el refuerzo fuera necesario por otras causas, estas operaciones deberán ser efectuadas con anterioridad.

Los desperfectos del segundo grupo (descascarillados, descarnaduras, exudaciones, roderas, pulimento de los áridos, pérdida de profundidad de textura, etc.), aunque sean generalizados, no implican tampoco necesidad de refuerzo, pues pueden remediarse mediante técnicas de renovación superficial.

Los desperfectos del tercer grupo, que comprende todos los indicativos de una pérdida de capacidad de resistencia estructural (fisuras, cuarteo, deformación del perfil longitudinal, hundimientos, depresiones, etc.), son los que plantean la necesidad de estudiar el refuerzo de la base.

En todo caso, y por lo que se refiere a los desperfectos que afectan a la estructura de la base, tanto si son localizados como si están generalizados, se deberá examinar si han podido ser originados, total o parcialmente, por un drenaje superficial o profundo insuficiente o defectuoso, que deberá ser corregido en el momento de la reparación localizada o, en su caso, del refuerzo.

Exploración con equipos

La inspección visual puede ser complementada mediante la exploración con equipos que miden la evolución de algunas características de las bases, tales como los perfilógrafos longitudinales o transversales, aparatos medidores de la comodidad del usuario, equipos de inspección fotográfica, etc.

Los defectógrafos automáticos y otros equipos utilizados para el estudio del comportamiento estructural de las bases pueden ser también de utilidad para la evaluación del estado de las carreteras. En muchos casos será necesario recurrir también a la realización de calicatas, sondeos, toma de muestras y ensayos de laboratorio para verificar las hipótesis deducidas de la inspección visual.

5.2 Aplicación para darle a la estructura una mayor consistencia

El refuerzo colocado entre las capas estructurales de un pavimento posibilita un notable aumento en la vida útil de la carretera (con el consiguiente ahorro en costos de mantenimiento) y/o posibilita la reducción de los espesores necesarios para las distintas capas estructurales, reduciendo notablemente los movimientos de tierra y muchas veces evitando la necesidad de importación de rellenos de características especiales.

La función que cumple en la estructura del pavimento se puede dividir en dos tipos de funciones de la misma dentro de las capas estructurales de la carretera: el “confinamiento lateral de la base granular” y la función de “membrana tensionada”.

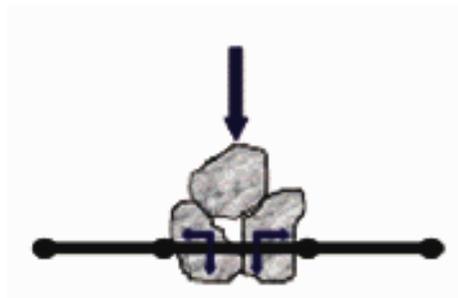
Confinamiento lateral de base granular

Se analizara la utilización de Geomallas (y otros) como refuerzo. La función de refuerzo por confinamiento lateral de las partículas, que

conforman la base de un pavimento, se desarrolla a través de la interacción (trabazón) del agregado con la geomalla (ver Figura 30). Esta función generalmente es asociada al refuerzo de la capa de base.

Ahora, el desarrollo de esta interacción en la interfase base – geomalla da lugar a cuatro mecanismos de refuerzo:

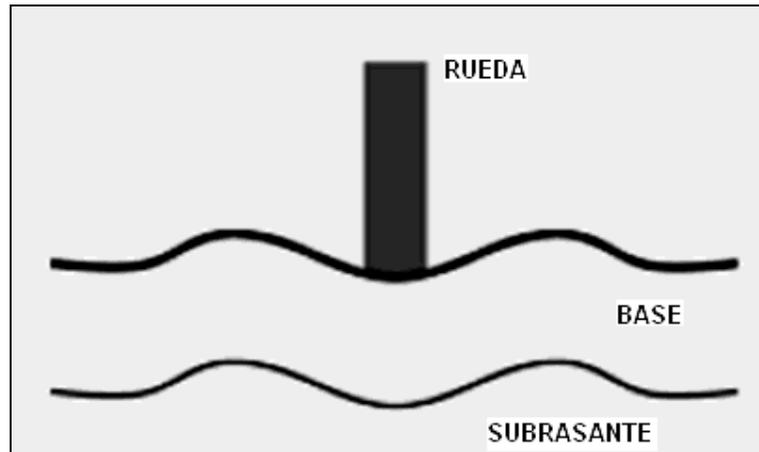
Figura 30 Confinamiento de las Partículas



Contención lateral de las partículas

Las Cargas vehiculares aplicadas en la superficie de un camino, crean un movimiento de desplazamiento lateral del agregado de la capa de base. Debido a esto, aparecen deformaciones laterales en el fondo de esta capa, mientras las partículas se mueven hacia abajo y hacia fuera de la carga aplicada. Este movimiento lateral permite que las deformaciones verticales tengan lugar, creando un surco permanente en el camino de la rueda.

Figura 31 Deformación permanente en base y subrasante

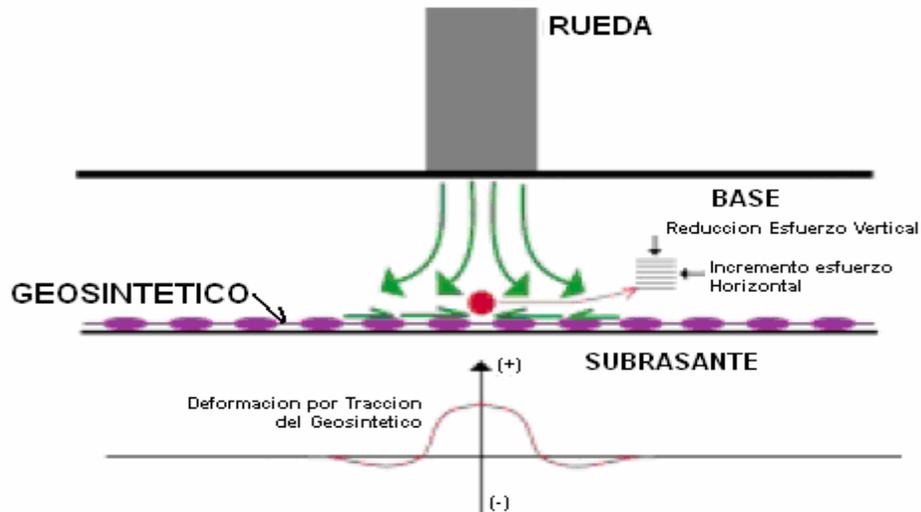


Al colocar una o varias geomallas en la base granular, se crea una interacción entre la base y la malla, mientras las partículas tratan de desparramarse lateralmente. De esta forma, la base granular le transmite esfuerzos de tracción a la geomalla y, dado que ésta tiene la capacidad de resistir las cargas horizontales, disminuye, considerablemente las deformaciones laterales, dando como resultado una deformación vertical mucho menor en la superficie del camino.

5.3. Incremento del módulo resistente de la base

Las tensiones de corte que se desarrollan entre el agregado y la geomalla, dan lugar a un incremento de las tensiones laterales, dentro de la porción más baja de la capa de base. Este incremento en el confinamiento lateral, lleva a un incremento en las tensiones principales del agregado. Por lo tanto, y dado que los materiales granulares, exhiben generalmente un incremento en su módulo elástico al incrementarse las tensiones principales, el agregado de la base se vuelve más rígido, (siempre y cuando se desarrolle una interacción –trabazón- adecuada entre base y geomalla)

Figura 32. Incremento del módulo resistente



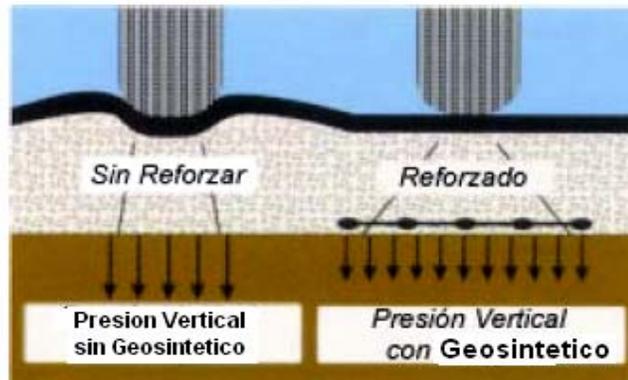
Este segundo mecanismo de refuerzo, también da como resultado, el desarrollo de menores deformaciones verticales del agregado de la base. Además, mientras este mecanismo controla el desarrollo de surcos, también puede esperarse que, un incremento en el módulo del suelo, resulte en menores deformaciones dinámicas verticales recuperables de la superficie del camino, por lo que también se reduciría, el efecto de fatiga en pavimentos asfálticos.

5.4. Mejoramiento de distribución de carga sobre la subrasante

El incremento en el módulo de la base, también significa que esta capa ayudará mejor, en la distribución de carga sobre la subrasante, creando un efecto como el que puede verse en Figura 4. Este tercer mecanismo de refuerzo reduce, las tensiones verticales en la base y en la subrasante debajo de la línea central de la rueda, lo que dará lugar a deformaciones verticales menores en ambas capas.

Como resultado de un mejoramiento en la distribución de carga, la forma deflectada de la superficie del camino tendrá menor curvatura.

Figura 33 Distribución de presiones verticales



5.5 Disminución del estado de carga de subrasante

La presencia de la geomalla en la capa de base, puede también llevar a un cambio en las condiciones, tanto de carga y deformación del material de la subrasante. Como ya se mencionó, la rigidez incrementada de la capa de base, da lugar a una reducción en las tensiones verticales sobre la subrasante. De la misma forma, también es esperable que las tensiones de corte, transmitidas de la base a la subrasante se reduzcan.

Por lo tanto, este tercer mecanismo de refuerzo da como resultado, menores tensiones de corte en la subrasante, lo que al combinarlo con las menores tensiones verticales, da lugar a un estado tensional menos severo, que lleva a menores deformaciones verticales en la subrasante.

Función como membrana tensionada

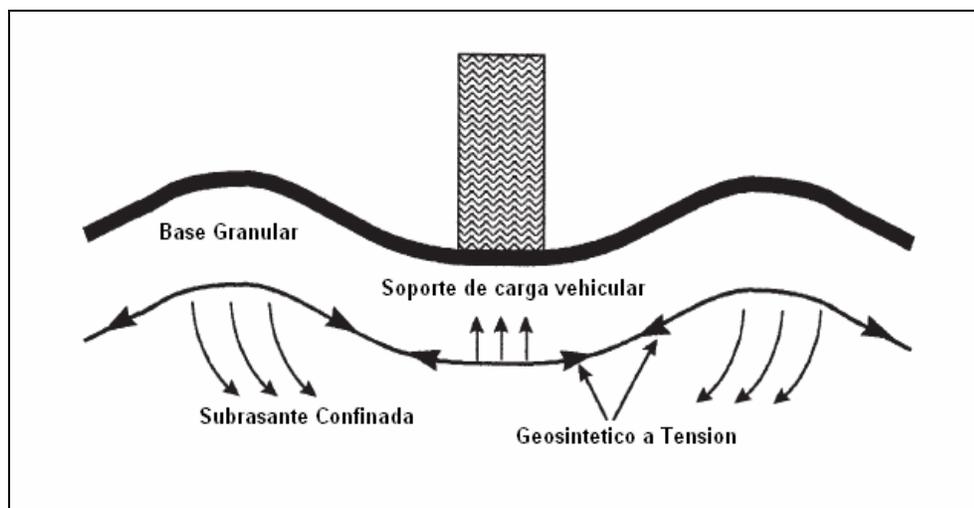
La función de la geomalla para actuar como una membrana en tensión, se puede describir en términos de otras funciones, tales como el

confinamiento de la subrasante, el incremento de la capacidad portante de la subrasante, o el soporte como membrana.

En la aplicación de cargas de ruedas, que causan falla por corte de la subrasante y que da lugar a grandes profundidades de surco, la forma deformada de la geomalla, sería como la que se muestra en la Figura 34. Esta forma y la consiguiente tensión desarrollada en el material, crean una resistencia hacia arriba a la carga de la rueda y un confinamiento hacia debajo de la subrasante. Este soporte membranoso de la carga de la rueda reduce la tensión vertical aplicada a la subrasante.

Por otro lado, el confinamiento de la subrasante incrementa su resistencia a la falla por corte.

Figura 34. Efecto de membrana



Este proceso de refuerzo será dependiente de la profundidad del surco desarrollado. Inicialmente, la carga aplicada podría exceder la resistencia de la subrasante, lo que da lugar a la formación del surco. A medida que el surco va creciendo, (siempre bajo la condición de que la carga aplicada excede la resistencia de la subrasante), la geomalla empieza a soportar

cada vez más carga. El proceso continúa hasta que la tensión en la subrasante, llega a un nivel admisible. En este punto, el sistema se hace estable, y la profundidad del surco llega a un valor constante.

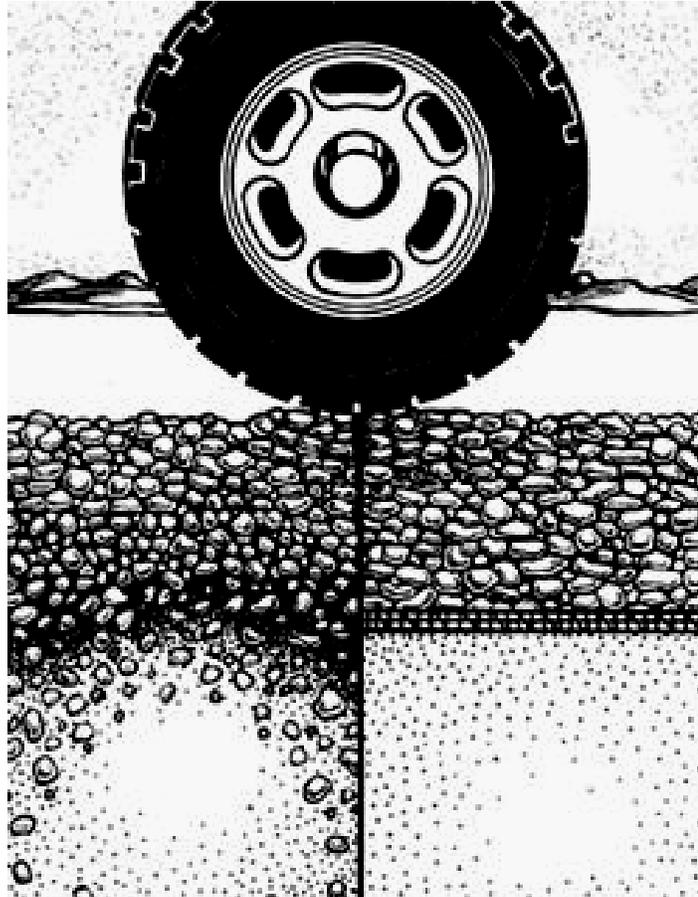
Sin embargo, para desarrollar este mecanismo, se necesita una deformación significativa de la superficie del camino, lo que generalmente requiere que el suelo de la subrasante sea débil y/o las cargas de tránsito sean grandes. El tráfico, además, debe estar canalizado para que la función como membrana tensionada trabaje, de manera adecuada.

5.6 Aplicación para evitar la segregación de la base hacia las capas inferiores

Desde el punto de vista estructural, la contaminación de las capas granulares, la mezcla de suelos de diferentes características, y el comportamiento mecánico del suelo de subrasante, son factores de gran influencia en el deterioro de las vías, lo que se traduce en una reducción de la capacidad portante de todo el sistema. La metodología tradicional de diseño de vías, contempla un espesor adicional de material granular, para compensar el material que se mezcla y se contamina con el suelo de subrasante, perdiendo todas sus propiedades y características iniciales; Sin embargo estos diseños no tienen en cuenta el mismo proceso que se desarrolla a largo plazo y que trae como consecuencia, un deterioro de las capas que conforman la estructura y una disminución considerable del período de vida útil establecido.

El geotextil se traduce en una barrera para la migración de partículas, entre los dos tipos de suelo, facilitando la transmisión de agua. Se requiere entonces un geotextil que retenga las partículas de suelo, y evite el lavado de finos por acción del agua, y que cumpla con la resistencia necesaria para mantener la continuidad, sin que ocurra ninguna falla por tensión, punzonamiento o estallido, bajo concentraciones de esfuerzos locales, causados por irregularidades en el suelo de fundación.

Figura 35 Sección transversal de pavimento, sin y con geosintético



5.7 Consideraciones de diseño por separación

Para que un geotextil cumpla correctamente la función de separación, entre un suelo de subrasante y una capa de material granular, el CBR de la subrasante debe estar entre 3% y 10%.

Dentro de este rango se asume que la deformación del suelo de subrasante, no es lo suficientemente importante para generar esfuerzos de tensión en el geotextil, el cual se diseña como separación y no como refuerzo.

Cuando el CBR es menor de 3%, el geotextil sufre grandes deformaciones y comienza a absorber esfuerzos a tensión, que lo inducen a trabajar como refuerzo, factor que afecta totalmente el diseño por separación.

En los casos en que el CBR de subrasante sea menor a 3%, se debe hacer un diseño por refuerzo y verificar los criterios del diseño por separación, cuando el geotextil se coloca entre dos materiales de diferentes características.

Para tener un concepto claro del funcionamiento del geotextil, como separación en la interfaz subrasante – capas granulares, es importante conocer el proceso que se desarrolla entre dos materiales de diferentes características, y cómo el geotextil se convierte en una barrera que garantiza el buen funcionamiento de los materiales.

La función de separación que cumple un geotextil, es mantener la integridad y el buen funcionamiento de dos suelos adyacentes, con propiedades y características diferentes. En el caso de las estructuras de pavimento, donde se coloca suelo granular (base, sub base, relleno), sobre suelos finos (subrasante) se presentan dos procesos en forma simultánea:

1. Migración de suelos finos dentro del suelo granular, desminuyendo su capacidad de drenaje.
2. Intrusión del suelo granular dentro del suelo fino, disminuyendo su capacidad portante (resistencia).

Para escoger el geotextil que se debe utilizar en cada caso, se tienen en cuenta los siguientes criterios en el diseño:

- Resistencia al estallido (Mullen Burst)
- Resistencia a la tensión (Grab)

- Resistencia al punzonamiento
- Criterio de retención (Tamaño de Abertura Aparente)
- Criterio de permeabilidad

Diseño por separación

Este diseño permite escoger el tipo de geotextil adecuado, para colocar en la interfaz subrasante – capa granular, que tiene como función principal, la separación de suelos adyacentes con propiedades y características diferentes, y la estabilización de la subrasante durante el periodo de vida útil de la estructura de una vía.

El diseño por funciones consiste en evacuar la principal función, para la cual se utiliza el geotextil, y calcular el valor requerido para esa propiedad en particular. En el caso del diseño por separación, se comparan las resistencias del geotextil, con el valor requerido en el diseño para una misma propiedad, obteniendo un factor de seguridad global FS_g .

$$FS_g = \frac{(T_{allow} \text{ resistencia disponible})}{T \text{ (resistencia requerida (especificaciones de diseño))}} \rightarrow FS_g > 1$$

Donde:

T_{allow} = Resistencia disponible: resultado de ensayo de laboratorio, que simula las condiciones reales del proyecto.

T = Resistencia requerida: valor obtenido de una metodología de diseño, que simula las condiciones reales del proyecto.

Para los casos en que se determine el factor de seguridad global, como parámetro de diseño, se calcula entonces la resistencia requerida (diseño), en función de las especificaciones del geotextil que se vaya a utilizar.

$$T \text{ (Resistencia requerida)} = T_{\text{allow}} \text{ (Resistencia disponible)} / FS_g$$

Las especificaciones de los geotextiles se evalúan bajo condiciones ideales de laboratorio, lo que en algunos casos, representa altos valores numéricos para el diseño. Los valores obtenidos en laboratorio se deben modificar, para aplicarlos bajo las condiciones in situ de cada proyecto. Para tener en cuenta estos factores, se asume un factor de seguridad parcial FS_p , que permite ajustar el valor último de laboratorio, a las condiciones particulares del terreno, obteniendo un valor disponible que se aplicara en el diseño.

$$T = T_{\text{allow}} / FS_p$$

$$FS_p = FS_{ID} \times FS_{CD} \times FS_{BD}$$

Donde:

T_{allow} resistencia disponible para emplear en el diseño

T_{ult} : resistencia última obtenida en laboratorio

FS_p : factor de seguridad parcial

FS_{ID} : factor de seguridad por daños de instalación

FS_{CD} : factor de seguridad por degradación química

FS_{BD} : factor de seguridad por degradación biológica

Estos factores de seguridad varían según las funciones que vaya a cumplir el geotextil, y las condiciones de cada proyecto en particular. En la Tabla 1 se presentan los valores que se emplean para el caso de la separación.

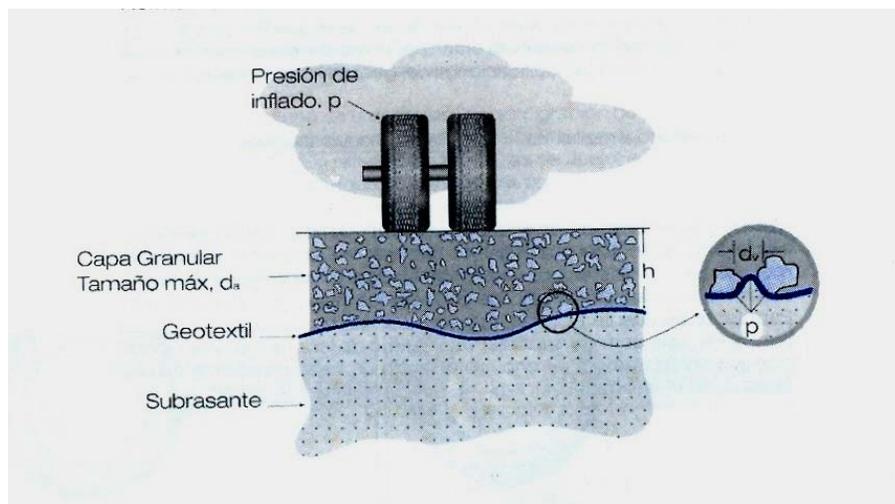
Tabla XIV Factores de seguridad para función de separación

Área de aplicación	Daños por instalación	Degradación química	Degradación Biológica
Separación	1.1 a 2.5	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2

a) Resistencia al estallido (Mullen Burst)

Entre las partículas del suelo granular que se coloca sobre el geotextil, existen vacíos que permiten que el geotextil se introduzca entre ellas, por la acción simultánea de las cargas de tráfico, que son transmitidas hasta las capas granulares, al geotextil y al suelo de subrasante. Una vez sometido a esfuerzos, el suelo trata de empujar el geotextil por los vacíos de la capa granular. El geotextil que se coloca en la interfaz subrasante – capa granular, debe cumplir una resistencia mínima para que no falle por estallido. El ensayo de resistencia al estallido (método Mullen Burst – Norma ASTM D3786) representa esta situación.

Figura 36. Geotextil de separación – Resistencia al estallido



$$T_{reg} = 0.5 \times p' \times d_v (f(E))$$

$$T_{ult} = 0.5 \times p_{test} \times d_{test} (f(E))$$

Donde:

- T_{reg} : resistencia requerida del geotextil (kPa)
- p' : esfuerzo en la superficie del geotextil p' menor o igual a p (kPa)
- p : presión de inflado (kPa)
- d_v : diámetro máximo de los vacíos $d_v = 0.33 d_a$ (mm)
- d_a : diámetro máximo de las partículas de agregados (mm)
- $f(E)$: función de deformación (elongación) del geotextil
- T_{ult} : resistencia última del geotextil (kPa)
- P_{test} : presión del ensayo Mullen Burst (kPa)
- d_{test} : diámetro del diafragma – ensayo Burst (=30.48 mm)

Método 1: Verificar si el Geotextil que se va a utilizar es adecuado

Donde: T_{ult} conocido: calcular FS_g

$$FS_g = T_{allow} / T_{reg}$$

$$T_{allow} = T_{ult} / FS_p$$

$$FS_g = (P_{test} \times d_{test}) / (FS_p \times p' \times d_v)$$

Para: $FS_p = 1.5$ entonces Ecuación del factor de Seguridad Global
 $D_{test} = 30.48 \text{ mm}$ $FS_g = (61.6 \times p_{test}) / (p' \times d_a)$ entonces $FS_g >$

1

$$D_v = 0.33 d_a$$

Para: $FS_p = 2.0$ entonces Ecuación del factor de Seguridad Global
 $D_{test} = 30.48 \text{ mm}$ $FS_g = (46.2 \times p_{test}) / (p' \times d_a)$ entonces $FS_g >$

1

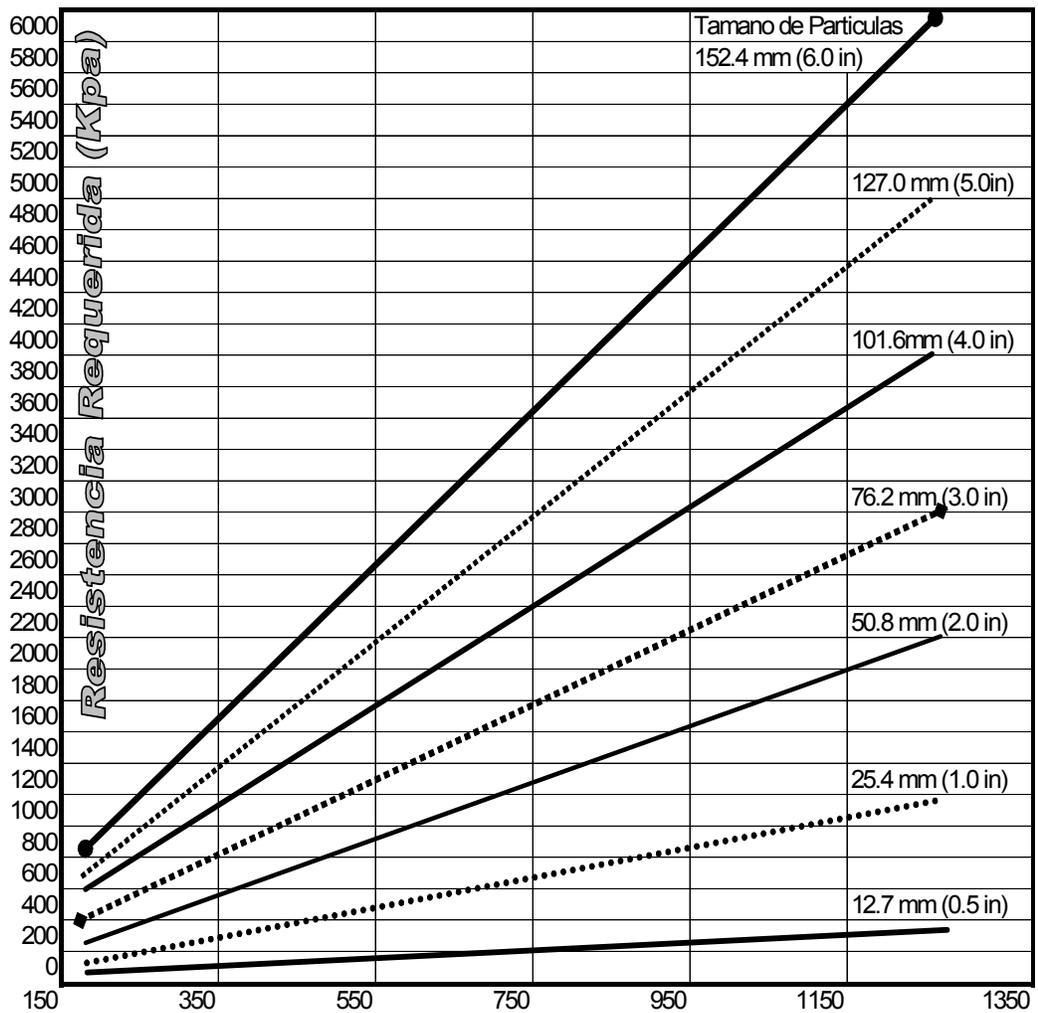
$$D_v = 0.33 d_a$$

Método 2: Determinar la resistencia Burst requerida del Geotextil para un factor de seguridad global FS_g establecido.

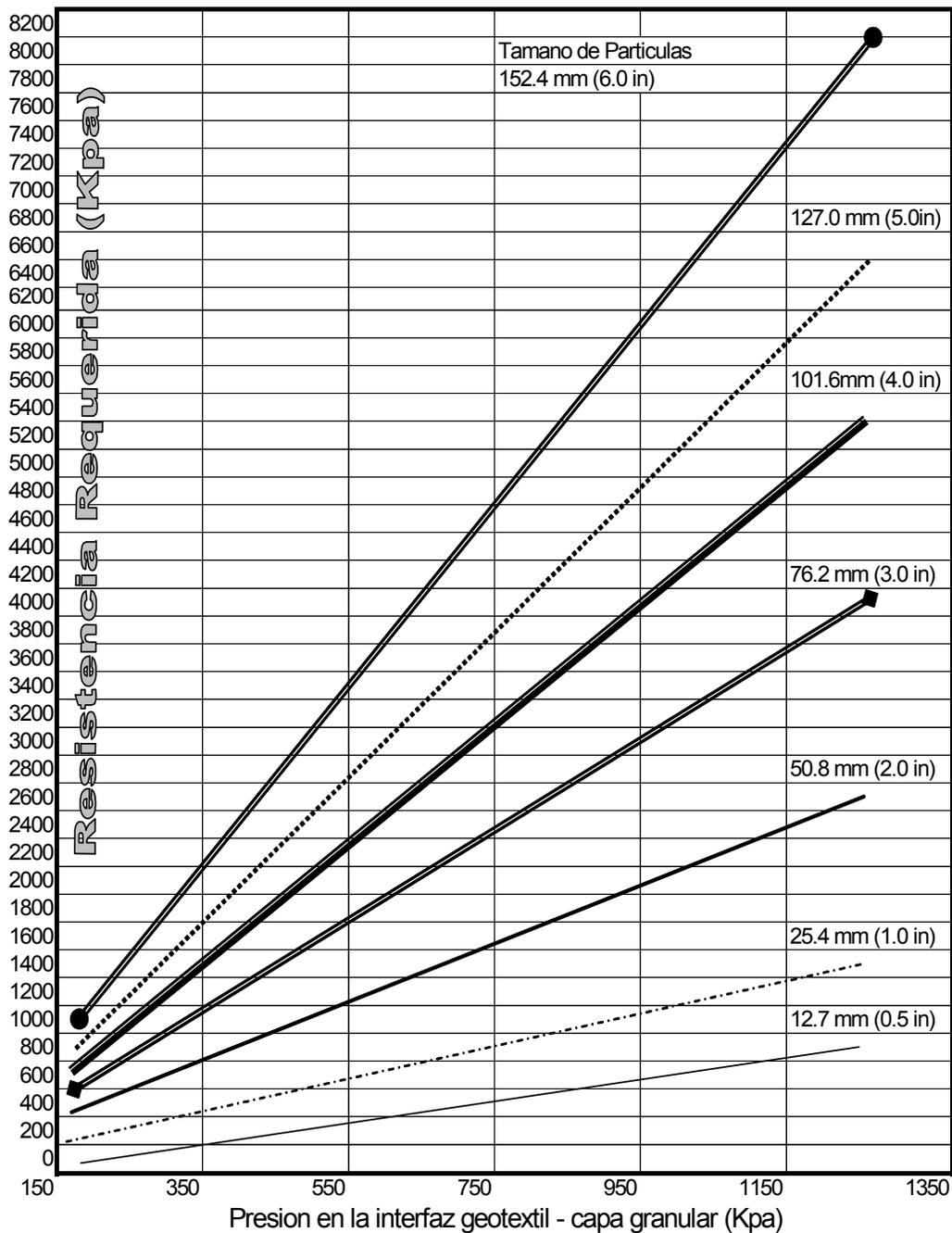
FS_g conocido: determinar $T_{requerido}$

A continuación se presentan las gráficas que permiten determinar T_{test} de diseño del geotextil, asumiendo un factor de seguridad global $FS_g = 2.0$, y factores de seguridad parcial $FS_p = 1.5$ y $FS_p = 2.0$ para las condiciones definidas en el método 1.

Figura 37, Resistencia al estallido (Burst) Carta de diseño ($FS_g = 2.0$; $FS_p = 1.5$)



**Figura 38, Presion Vrs. Resistencia al estallido (BURST)
segun el tamaño de agregado (FSg = 2.0; FSp = 2.0)**

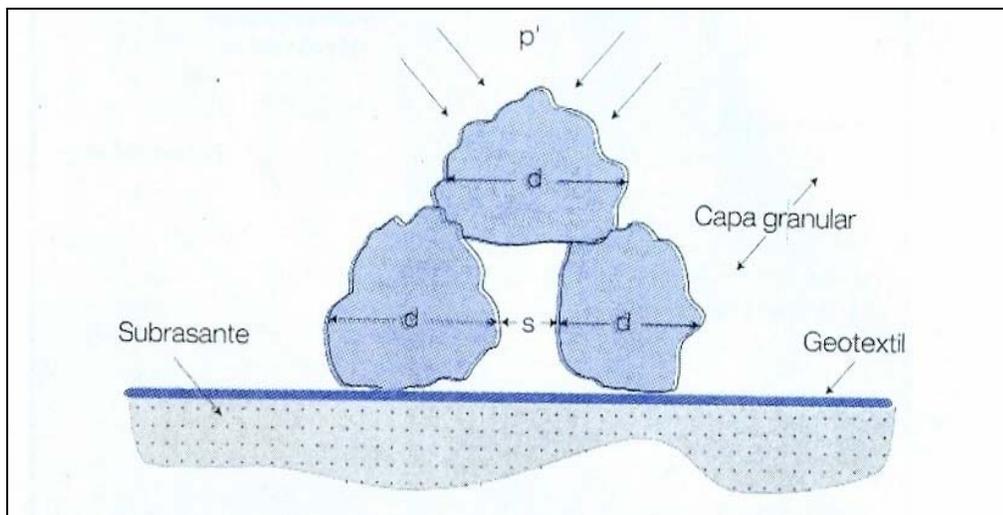


Resistencia al estallido (Burst) Carta de diseño (FSg =2.0; FSp = 2.0)

b) Resistencia a tensión (GRAB)

Otro factor que actúa sobre el geotextil es el esfuerzo de tracción, que se genera en el geotextil en su plano de deformación. Esto ocurre cuando el geotextil está “atrapado” por una capa granular, y un suelo de subrasante. Cuando una partícula superior es forzada contra dos partículas inferiores, que están en contacto con el geotextil se genera un esfuerzo de tracción en su plano (Figura 39). El ensayo de tensión según el método Grab (ASTM D4632) simula este proceso en el laboratorio, determinando la carga de rotura (Resistencia Grab) del geotextil y su elongación correspondiente (deformación – elongación Grab). El geotextil se coloca en la interfaz subrasante – capa granular debe cumplir una resistencia mínima para que no falle por tensión.

Figura 39. Geotextil de separación – Resistencia a la tensión (GRAB)



$$T_{req} = p' \times 10^{-3} (d_v)^2 [f(e)]$$

Donde:

- T_{req} : resistencia Grab requerida (N)
 P' : presión aplicada (kPa)
 d_v : diámetro máximo de los vacíos: $d_v = 0.33 d_a$ (mm)
 d_a : diámetro máximo de las partículas de agregado (mm)
 $f(\epsilon)$: función de deformación (elongación) del geotextil

Tabla XV Valores de $f(\epsilon)$

e%	$f(\epsilon)$	e%	$f(\epsilon)$
0	0	25	0.55
2	1.47	30	0.53
3	1.23	35	0.52
4	1.08	40	0.51
5	0.97	45-70	0.50
6	0.90	75	0.51
8	0.80	90	0.52
10	0.73	100	0.53
12	0.69	110	0.54
15	0.64	120	0.55
20	0.58	130	0.56

Método: verificar si el geotextil que se va a utilizar es adecuado

T_{ult} conocido; calcular FSg

$$FSg = T_{allow} / T_{req}$$

$$T_{allow} = T_{ult} / FSg = T / (FSp \times p' \times 10^{-3} \times (d_v)^2 \times [f(\epsilon)])$$

Entonces la ecuación del Factor de Seguridad Global es:

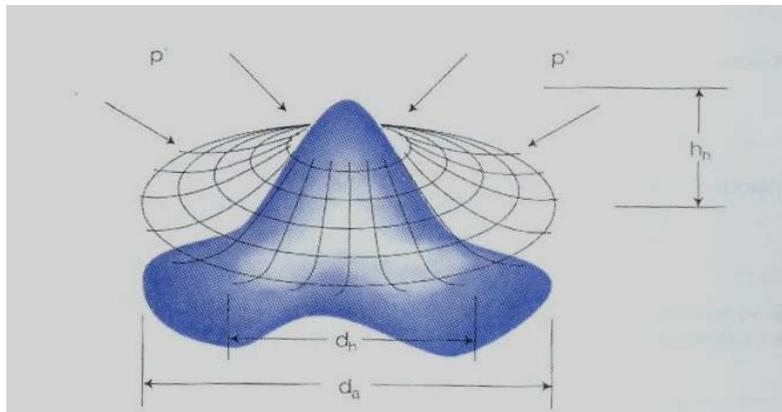
$$FSg = T / (FSp \times p' \times 10^{-3} \times (0.33d_a)^2 \times [f(\epsilon)]) \implies FSg > 1$$

c) Resistencia al punzonamiento

Además de cumplir la función de separación, el geotextil de separación debe resistir el proceso de instalación, sin que sus propiedades iniciales sufran modificaciones importantes. Así se garantiza el buen funcionamiento del geotextil, durante la vida útil de la vía. Materiales punzonantes, piedras angulares, ramas de árboles, desechos de construcción y otro tipo de objetos que se encuentren sobre el suelo (subyacente), que quede en

contacto con el geotextil, pueden romperlo y desgastarlo cuando se coloque la capa granular, y se apliquen las cargas de tráfico sobre la estructura. Se debe calcular la fuerza vertical, que actuará sobre el geotextil bajo estas condiciones, y verificar que el geotextil que se coloque, resista el punzonamiento que se genere. El ensayo de resistencia al punzonamiento ASTM D4833 simula esta condición en laboratorio y permite calcular la máxima resistencia que tiene un geotextil bajo la acción del punzonamiento.

Figura 40. Punzonamiento causado por una partícula sobre el geotextil.



Donde:

T_{req} : fuerza vertical que el geotextil debe resistir (N)

P' : presión aplicada (kPa)

P : presión de inflado (kPa)

d_a : diámetro máximo de las partículas de agregado o de partículas angulares (mm)

S_1 : factor de punzonamiento (empuje) del suelo o partículas subyacentes al geotextil $S_1 = h_1 / d_a$

H_h : altura de empuje: $H_h \leq d_a$

S_2 : factor de escala para ajustar el diámetro del vástago de punzonamiento del ensayo ASTM D 4833 al diámetro de la actual partícula punzonante:

$$S_2 = 0.31 / d_a$$

- S₃: factor de forma para ajustar la forma del vástago de punzonamiento del ensayo ASTM D4833 a la forma de la actual partícula punzonante: $S_3=1-A_p/a_c$
- A_p: área proyectada de la partícula
- A_c: área del menor círculo circunscrito

Tabla XVI Valores de Ap /Ac

Descripción	Ap /Ac
Arena Ottawa	0.8
Grava	0.7
Roca Triturada	0.4
Roca extraída por medio de dinamita	0.3

Método 1: verificar si el geotextil que se va a utilizar es el adecuado

F_{ult} conocido; calcular FS_g

$$FS_g = T_{allow} / T_{req}$$

$$T_{allow} \rightarrow = T_{ult} / TS_p \quad TS_g = T_{ult} / (FS_p \times T_{req})$$

Entonces la ecuación del Factor de Seguridad Global en unidades del Sistema Internacional es:

$$FS_g = T_{ult} \times 39.36 / (FS_p p' S_1 S_2 S_3) \rightarrow FS_g > 1$$

Donde:

T_{ult} (N)

P' (kPa)

d_a (mm)

Método 2: Determinar la resistencia al punzonamiento requerida del geotextil para un factor de seguridad global FS_g establecido

→ FS_g conocido; determinar $T_{requerido}$

Si se asume que se coloca una capa de material granular con partículas angulares sobre el geotextil, de tal forma que:

$$S_1 = 0.33$$

$$S_2 = 0.3 / d_a$$

$$S_3 = 0.5$$

Entonces la resistencia al punzonamiento requerida para esas condiciones es:

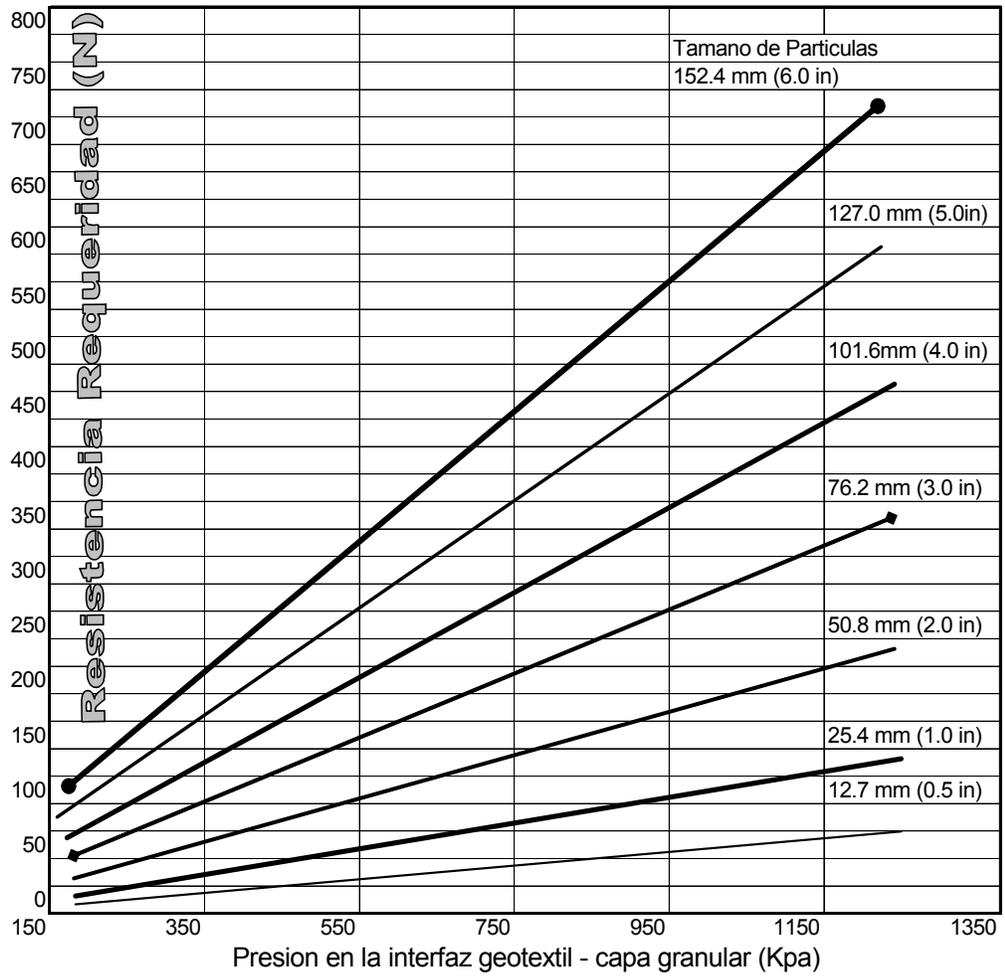
$$F_{req} = (0.512 / 39.36) p \times d_a \rightarrow F_{req} = 1.3 \times 10^{-3} p \times d_a$$

Para determinar la resistencia al punzonamiento requerida para el diseño bajo las condiciones establecidas se tiene:

$$FS_g = T_{ult} / (FS_p \times T_{req}) \rightarrow T_{ult} = FS_g FS_p (1.3 \times 10^{-3} p \times d_a)$$

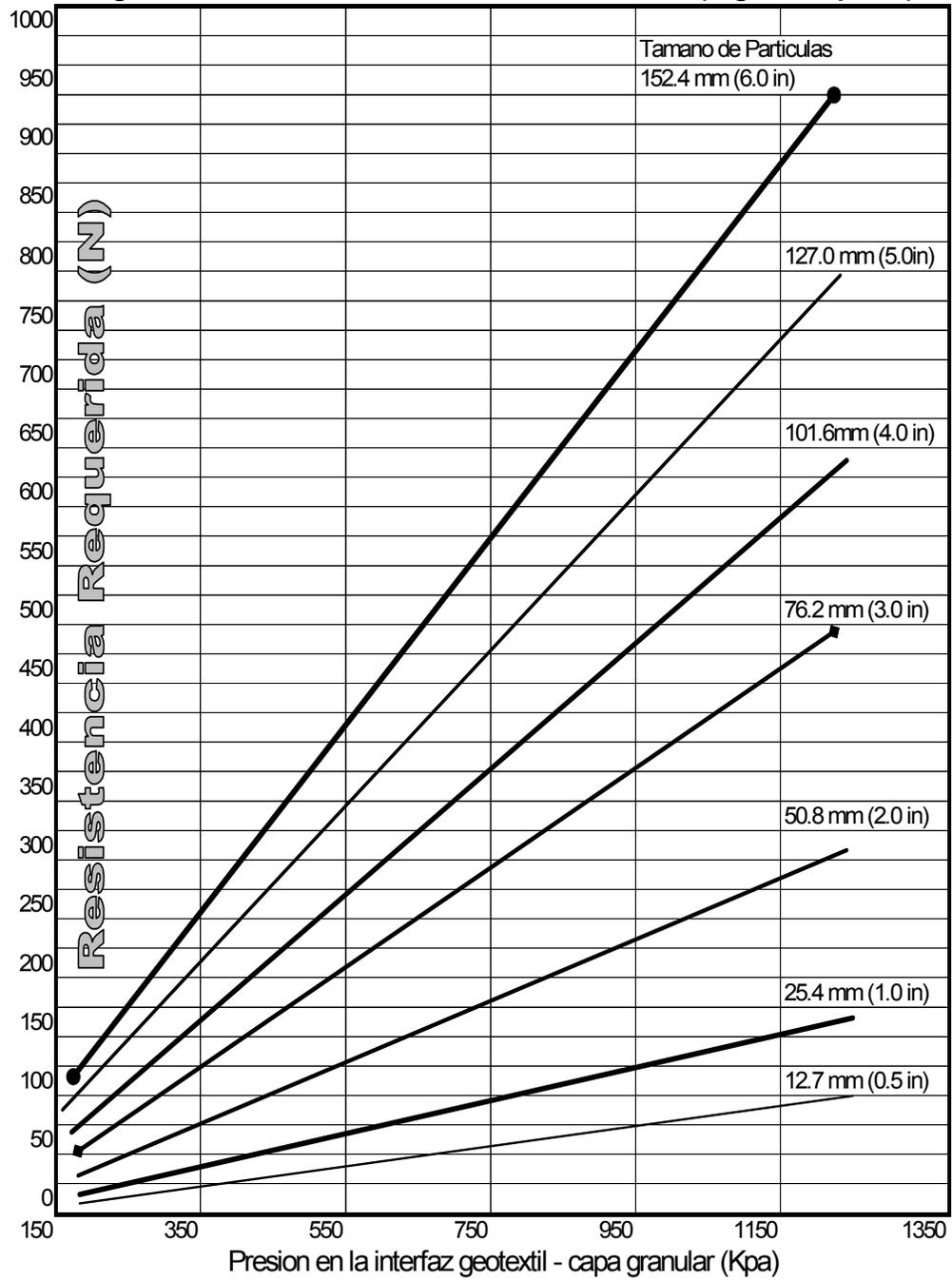
A continuación se presentan las gráficas que permiten determinar F_{ult} de diseño del geotextil, asumiendo un factor de seguridad global $FS_g = 2.0$ y factores de seguridad parcial $FS_p = 1.5$ y $FS_p = 2.0$, para las condiciones definidas.

Figura 41. Resistencia al Punzonamiento, Carta de diseño (FSg =2.0; FSp = 1.5)



Presion Vrs. Resistencia al punzonamiento
segun el tamaño de agregado (FSg = 2.0; FSp = 1.5)

Figura 42. Resistencia al Punzonamiento Carta de diseño (FSg = 2.0; FSp = 2.0)



Presion Vrs. Resistencia al punzonamiento
segun el tamaño de agregado (FSg = 2.0; FSp = 2.0)

d) Criterio de retención (TAA)

El criterio de retención por Tamaño de Abertura Aparente (TAA) permite determinar el tamaño de las aberturas del geotextil, para evitar la migración de suelo fino hacia las capas granulares.

$$TAA < D_{85} \times B$$

Donde:

TAA: Tamaño de Abertura Aparente del geotextil (TAA = O_{95})

Ensayo ASTM D4751

D_{85} : Tamaño de partículas del suelo que corresponde al 85% del suelo que pasa al ser tamizado (curva granulométrica)

B: Coeficiente que depende del tipo de suelo en contacto con el geotextil

- Arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (menos de 50% pasa tamiz No. 200), B es función del coeficiente de uniformidad C_u ($C_u = D_{60}/D_{10}$):

$$C_u \leq 2 \vee C_u \geq 8 \quad \rightarrow \quad B = 1$$

$$2 \leq C_u \leq 4 \quad \rightarrow \quad B = 0.5 \times C_u$$

$$4 < C_u < 8 \quad \rightarrow \quad B = 8 / C_u$$

- Suelos arenosos mal gradados: \rightarrow B entre 1.5 y 2
- Suelos finos (más de 50% pasa tamiz No. 200) B es función del tipo de geotextil. La AASHTO Task Force 25 recomienda que los geotextiles deben cumplir:

$$TAA < 0.3 \text{ mm.}$$

e) Criterio de permeabilidad

El coeficiente de permeabilidad se define como la propiedad hidráulica que tiene un geotextil, para permitir un adecuado paso de flujo, perpendicular a su plano.

Para la función de separación los geotextiles deben cumplir lo siguiente:

$$K \text{ del geotextil} > K \text{ del suelo}$$

Donde:

K: permeabilidad: $K = \zeta \times t$

ζ : permeabilidad del geotextil

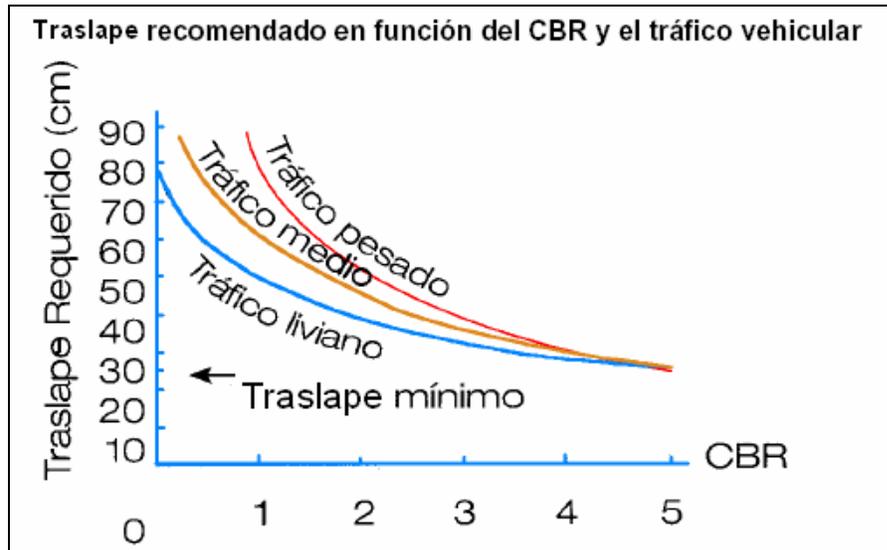
T: espesor nominal del geotextil

En los casos en que se presente un nivel freático muy alto o condiciones críticas de humedad de la subrasante, se debe utilizar un geotextil con alta transmisividad, que permite el drenaje a través de su plano, (geotextiles no tejidos punzonados con agujas). En estos casos se recomienda incorporar un sistema de subdrenaje lateral, para abatir el nivel freático.

Los geotextiles son materiales de polipropileno, altamente resistente al ataque químico y biológico. Los geotextiles se degradan con los rayos UV, por consiguiente no deben ser expuestos por largo tiempo a estos rayos.

Las juntas de los geotextiles pueden ser con costuras o traslapes, que deben cumplir las especificaciones de diseño. Las reparaciones de rasgaduras sobre el geotextil deben ser aprobadas por el Ingeniero, al igual que las juntas. Los traslapes deben cumplir valores mínimos, que dependen de las características del suelo de subrasante, y del tipo de tráfico que vaya a circular sobre la vía. En la siguiente Figura se muestran los valores mínimos recomendados, para los traslapes de geotextiles que tienen como función principal la separación.

Figura 43. Traslapes recomendados



CBR < 0.50 % **➔** Se debe realizar costura (ASTM D 4635)

5.8 Ejemplo de diseño

Para la construcción de una vía nueva se requiere colocar un geotextil de separación, en la interfaz subrasante – sub base granular. La vía tendrá un ancho de calzada de 7.30 m (ancho de carril 3.65 m) y hombro – cuneta de 1.80 m, para un ancho total de corona de 10.90 m. El tránsito promedio diario (TPD) para el primer año de servicio, es de 3000 vpd y el tránsito de diseño para un periodo de 10 años es $N = 6E + 06$ de ejes equivalentes de 8.2 ton. (ESAL). La composición vehicular es de 61% autos, 10% buses y 29% camiones.

El suelo de subrasante está compuesto por limos arcillosos (ML), con una permeabilidad $k = 2.5 \times 10^{-6}$ cm. /s y $D_{85} = 0.085$ mm. Se estableció un CBR de diseño de 3.5%, para una estructura de pavimento flexible, compuesta por sub base y base granular y carpeta asfáltica.

Datos:

Presión de inflado 100 psi =690 kPa

Determinar el tipo de geotextil para usar como separador en la interfaz subrasante – sub base granular, para los siguientes casos:

1. Para un geotextil no Tejido o Tejido sub base granular: tamaño máximo: $d_a = 63.5 \text{ mm}$ ($d_a = 2.5''$)
2. Para un geotextil Tejido teniendo una Sub base granular: tamaño máximo: $d_a = 101.6 \text{ mm}$ ($d_a = 4''$)

Figura 44. Estructura de pavimento sin y con refuerzo

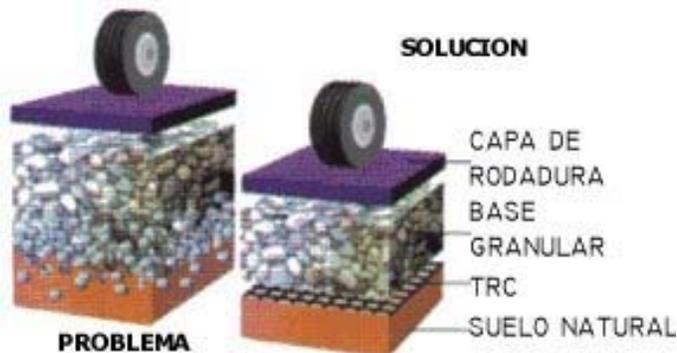
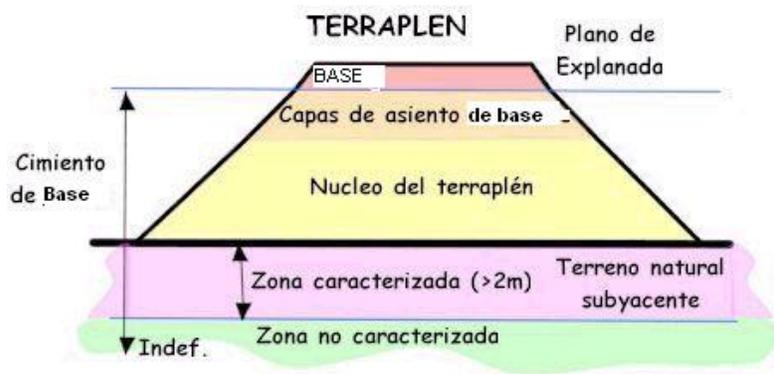


Tabla XVII Propiedades de geotextiles no tejidos

Propiedad	Norma	Unidad	NT 1800	NT2000	NT3000	NT4000	NT500	NT6000	NT7000
Resistencia la estallido Mullen Burst	ASTM D-3786	kPa (Psi)	1517 (220)	1758 (255)	2208 (320)	2967 (430)	3172 (460)	3861 (560)	4551 (660)
Resistencia a la Tension Metodo Grab	ASTM D 4632	N (lb)	535 (120)	615 (138)	780 (176)	1060 (239)	1170 (263)	1430 (322)	1720 (387)
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 4833	N (lb)	290 (65)	350 (79)	430 (97)	640 (144)	670 (151)	790 (178)	970 (218)
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D 4533	N (lb)	220 (50)	255 (57)	350 (79)	415 (93)	450 (101)	520 (117)	540 (122)

Caso 1:

a) Resistencia al estallido (Mullen Burst)

Método 2: Determinar $T_{reqdiseño}$

$$FS_p = 2.0$$

$$FS_g = 2.0$$

$$P' = 100 \text{ psi} = 690 \text{ kPa}$$

$$D_a = 63.5 \text{ mm} = 2.5''$$

Según la grafica $T_{reqdiseño} = 1895 \text{ kPa}$

Geotextiles que cumplen esta condición (Tabla XVII):

Geotextiles No tejidos: NT1800, NT2000, NT3000, NT4000, NT5000, NT6000, NT7000.

Geotextil seleccionado: NT3000

Chequeo por supervivencia:

Resistencia al estallido: 1300kPa

NT3000 cumple

b) Resistencia a la Tensión (GRAB)

Se verifica para geotextil no tejido NT3000

$T_{ult} = 810 \text{ N}$

Elongación = \geq a 50%

$D_a = 63.5 \text{ mm} = 2.5''$

$P' = 100 \text{ psi} = 690 \text{ kPa}$

$F(e) = 1.5$

$FS_p = 2.0$

$$FS_g = \frac{810}{2.0 \times 690 \times 10^{-3} \times (0.33 \times 63.5)^2 \times 0.50} = 2.67$$

Chequeo por supervivencia:

Resistencia la tensión (Grab):700N

NT3000 cumple

c) Resistencia al Punzonamiento

Método 2: Determinar T_{ult}

$FS_p = 2.0$

$FS_g = 2.0$

$D_a = 63.5 \text{ mm} = 2.5''$

$P' = 100 \text{ psi} = 690 \text{ kPa}$

$S_1 = 0.33$

$S_2 = 0.31/D_a$

$S_3 = 0.5$

Según la grafica $T_{ult} = 227N$

Geotextiles que cumplen esta condición (Tabla XVII):

Geotextiles Notejidos: NT1800, NT2000, NT3000, NT4000, NT5000, NT6000, NT7000.

Chequeo por supervivencia:

Resistencia al punzonamiento: 250N

NT1800 cumple, NT2000 cumple, NT3000 cumple

Geotextil seleccionado NT3000 (Cumple paso a y b)

d) criterio de Retención (TAA)

Criterio de retención: Suelos finos: TAA menor que 0.3 mm

Geotextil T1400: TAA =0.21 mm menor que 0.3 mm

e) Criterio de Permeabilidad

$K_g = 0.12 \text{ cm/s}$ K_g mayor que k_s

$K_s = 0.0000025 \text{ cm/s}$

Solución caso 1: El geotextil que se debe colocar como separación en la interfaz subrasante – sub base granular es el geotextil tejido T1400

Resumen solución caso 1

Datos Proyecto

Pavimento flexible

Tabla XVIII Datos de proyecto

Datos Proyecto	
Pavimento flexible	Capa asfáltica Base Granular Sub base Granular: $D_a = 2''$
Subrasante	Limo arcilloso (ML) CBR = 3.5% $K = 2.5 \times 10^{-6}$ cm/s
Presión de inflado	100 psi = 690 kPa

Datos geotextil

Geotextil de separación	NT 3000
Resistencia al estallido (Burst)	2350 kPa
Resistencia a la Tensión (Grab.)	810N
Resistencia al Punzonamiento	460N
Tamaño apertura aparente	0.15mm
Permeabilidad	0.35 cm/s
Resistencia al rasgado trapezoidal	320N

Caso 2:

a) Resistencia al Estallido (Mullen Burst)

Método 2: Determinar $T_{reqdiseño}$

$FS_p = 2.0$

$FS_g = 2.0$

$P' = 100\text{psi} = 690\text{kPa}$

$D_a = 101.6 \text{ mm} = 4''$

Según la grafica $T_{reqdiseño} = 3034 \text{ kPa}$

Tabla XIX. Propiedades de geotextiles tejidos

Propiedad	Norma	Unidad	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 4000
Resistencia la estallido Mullen Burst	ASTM D-3786	kPa (Psi)	3381 (490)	3585 (520)	4485 (650)	5175 (750)	8619 (1250)
Resistencia a la Tension Metodo Grab	ASTM D-4632	N (lb)	960 (216)	1080 (246)	1360 (306)	1590 (358)	2500 (562)
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D-6241	KN	3.8	4.2	5.3	5.9	9.5
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D-4533	N (lb)	270 (61)	400 (91)	470 (106)	530 (119)	730 (164)

Geotextiles que cumplen esta condición:

Geotextiles Tejidos: T1400,T1700,NT2100,T2400,T4000

Geotextil Seleccionado: T 1400

b) Resistencia a la Tensión (GRAB): Se verifica para geotextil tejido T 1400

$$T_{ult} = 920N$$

Elongación = o mayor 16%

$$D_a = 101.6 \text{ mm} = 4''$$

$$P' = 100 \text{ psi} = 690 \text{ kPa}$$

$$F(e) = 0.63$$

$$F_{Sp} = 2.0$$

$$F_{Sg} = (920 / (2.0 \times 690 \times 10^{-3} \times (0.33 \times 101.6)^2 \times 0.63)) = 0.94$$

Se verifica para geotextil tejido T1700

$$T_{ult} = 1220N$$

Elongación = 15%

$$F(e) = 0.64$$

$$F_{Sp} = 2.0$$

$$F_{Sg} = 1.23$$

Se verifica para geotextil tejido T 2100

$$T_{ult} = 1380N$$

$$\text{Elongación} = 17\%$$

$$F(e) = 0.62$$

$$FSp = 2.0$$

$$FSg = \mathbf{1.43}$$

Chequeo por supervivencia:

Resistencia a la tensión (Grab): 1100 N

T 1400 no cumple

T 1700 cumple, T 2100 cumple

Geotextil seleccionado: Para esta condición el geotextil Tejido T 1400 no cumple, entonces se escoge el geotextil T 2100 para cumplir criterios de supervivencia y obtener un FSg mayor.

c) Resistencia al Punzonamiento

Método 2: Determinar T_{ult}

$$FSp = 2.0$$

$$FSg = 2.0$$

$$D_a = 101.6\text{mm} = 4''$$

$$P' = 100\text{psi} = 690\text{ kPa}$$

$$S_1 = 0.33$$

$$S_2 = 0.31/d_a$$

$$S_3 = 0.5$$

Según la grafica $T_{ult} = 365\text{ N}$

Geotextiles que cumplen esta condición:

Geotextiles Tejidos: T1400, T1700, NT2100, T2400, T4000, TR4000.

Chequeo por supervivencia:

Resistencia al punzonamiento: 400 N

T 1400 Cumple, T 1700 Cumple, T 2100 Cumple

Geotextil seleccionado: T 2100 (cumple paso a y b)

d) Criterio de Retención (TAA)

Criterio de retención: Suelos finos TAA menor que 0.3 mm

Geotextil T 2100: TAA = 0.3 menor que 0.3 mm

e) Criterio de Permeabilidad

Criterio de Permeabilidad: k_g mayor que k_a

Geotextil T 2100

$K_g = 0.099$ cm/s

$K_a = 0.0000025$ cm/s

0.099 cm/s mayor que 0.0000025 cm/s

Solución caso 2: El geotextil que se debe colocar como separación en la interfaz subrasante – sub base granular es el geotextil tejido T 2100.

Resumen solución caso 2

Datos proyecto

Pavimento flexible

Tabla XX Resumen caso 2

Datos de Proyecto	
Pavimento flexible	Capa asfáltica Base Granular Sub base Granular: $D_a = 4''$
Subrasante	Limo arcilloso (ML) CBR = 3.5% $K = 2.5 \times 10^{-6}$ cm/s
Presión de inflado	100 psi = 690 kPa
Datos geotextil	
Geotextil de separación	T 2100
Resistencia al estallido (Burst)	4551 kPa
Resistencia a la Tensión (Grab.)	1380N
Resistencia al Punzonamiento	730N
Tamaño apertura aparente	0.30mm
Permeabilidad	0.099 cm/s
Resistencia al rasgado trapezoidal	470N

5.9 Utilización al nivel de subrasante, como sustituto de la capa de sub base

Debido a que la capa de BASE es la que absorbe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos, la carpeta de rodadura es colocada sobre ella, por que la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Por lo que se hace necesario la incorporación de un elemento adicional, en el método tradicional se coloca una capa de sub base, que logre absorber este tipo de esfuerzos y de un mayor confinamiento a la estructura.

Como primer punto se debe establecer cual es la función primordial, y para la cual se hace necesaria la incorporación de la capa de sub base. Se hace referencia a que la sub base sirve, como un elemento de distribución

de carga y esfuerzos de la base hacia la subrasante, como segundo punto principal se tiene que, se utiliza en muchos casos para proporcionar drenaje por encima de la subrasante, impidiendo que el agua de las terracerías y en sí de la subrasante ascienda por capilaridad, y evitar que el pavimento sea absorbido por la capa inferior. Debe transmitir en forma adecuada los esfuerzos a la subrasante.

En muchas oportunidades se presenta el caso, que los materiales necesarios, para la construcción de la capa de sub base, se encuentran a distancias bastante distantes del lugar donde serán colocados, lo que en cuestiones de economía y tiempo, afecta grandemente al tener que utilizar una cantidad mayor de recursos en el transporte de materiales.

Debido a esto en muchos casos se hace necesaria la implementación de otra alternativa, que responda efectivamente, a los requerimientos del proyecto, tanto en economía como en el tiempo de ejecución. Por lo que la incorporación de un material geosintético puede dar los resultados y desempeños que se necesitan para que la estructura conserve los requerimientos que se necesitan de acuerdo al diseño original.

Si se necesita dar a la estructura vial, un refuerzo, para transmitir esfuerzos hacia la subrasante y capas subyacentes del terraplén, se puede colocar un Geotextil Tejido, o una Geomalla ya sea del tipo uniaxial (un sentido) o biaxial (dos sentidos), dichos elementos pueden proporcionar, excelentes resultados y su fácil manejo le dan una velocidad y versatilidad a la ejecución de las obras, obteniéndose los mas altos rendimientos, en reducción de tiempos reales, lo que lleva de la mano una significativa economía, tanto en mano de obra como en equipo y maquinaria.

Por otro lado si se necesita que la humedad no se transmita hacia la base por capilaridad, se puede utilizar un geotextil no tejido, el cual tiene varias propiedades, entre las cuales se encuentra la de ser altamente drenante, por

lo que para este tipo de servicio es bastante efectivo. Además de servir como drenaje, también puede hacer las veces de separador de la base con la subrasante, logrando que la capa de base, conserve el espesor original y no exista migración de agregados hacia las capas inferiores, dando el confinamiento necesario a la base para que conserve sus características originales de diseño.

En el caso en donde las condiciones del terreno requieran que el agua sea absorbida por la base y a su vez que los esfuerzos sean transmitidos a la subrasante, entonces se debe pensar en que el geosintético que se decida emplear debe poseer las características tanto de refuerzo como drenaje, los Geotextiles Tejidos pueden ser utilizados para este caso por las características físicas que poseen, tanto de refuerzo como de drenaje. Si las condiciones fueran un tanto mas críticas, se puede realizar una combinación de dos, utilizando una Geomalla como refuerzo que absorbe y distribuye los esfuerzos y un Geotextil no tejido que sirve como drenaje y separador de elementos.

Se debe tomar en cuenta que si la sub base, fue diseñada solo como elemento drenante, el valor estructural del terraplén se mantiene inalterable, debido a que las condiciones no cambian, al sustituir el elemento que servirá como drenaje y separador.

Si la función de la capa de sub base es de distribución de esfuerzos, hacia las capas inferiores se debe tener mucho cuidado, en la elección del elemento, el cual deberá cumplir a cabalidad las funciones de la sub base, para poder distribuir los esfuerzos que le serán transmitidos, y debe ser tan fuerte que llegue a mantener inalterable el diseño original, y el número estructural continúe siendo igual o superior, pero nunca menor al original.

Para la selección se debe tener en cuenta los elementos y las consideraciones originales del cálculo de la estructura del pavimento para

determinar las características que deba poseer el nuevo elemento estructural que será incorporado al pavimento, en sustitución del material granular.

5.10 Beneficios que se pueden obtener al mejorar una base

Figura 45. Colocación de material sobre geosintético



Con la intención de atender las necesidades de la ingeniería geotécnica moderna, se cuenta con una completa gama de geosintéticos para las más diversas aplicaciones. Entre tales geosintéticos se encuentran los geocompuestos para refuerzo de bases, utilizados mundialmente en el refuerzo de base de pavimentos apoyados sobre suelos de baja capacidad de soporte.

Basados en la avanzada tecnología de los polímeros, este producto da origen a una Nueva generación de geosintéticos, los multifuncionales, al desarrollar las funciones de refuerzo, separación y filtración.

5.11 Reducción de espesores de la capa de base granular

Uno de los beneficios que se pueden obtener, al evaluar los efectos de la utilización de un Geosintético de refuerzo sobre la subrasante, es mediante la reducción del espesor de la capa granular, que conforma la estructura del sistema. Esta capa se diseña con el fin de distribuir los esfuerzos generados por la aplicación de cargas en la superficie del pavimento, de tal forma que al nivel de subrasante, los esfuerzos no sobrepasen la capacidad portante última.

Para utilizar la metodología de diseño de refuerzo, las diferentes capas de material granular que conforman la estructura, se deben llevar a una sola capa equivalente, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas de los materiales que constituyen cada una de las capas (módulo de elasticidad, relación de Poisson, etc.) y los espesores correspondientes, para obtener un espesor equivalente de capa granular, que se emplea en la metodología de diseño.

La utilización de un Geosintético de refuerzo en la subrasante, permite incrementar la capacidad portante de todo el sistema, y esto se puede representar con la reducción del espesor equivalente, de la capa granular de la estructura de pavimento. Una vez calculada la reducción equivalente, se determina el valor de reducción que le corresponde, a cada una de las capas de material granular o a una sola capa.

Ventajas que se obtienen

1. Disminución significativa en el costo comparado con sistemas convencionales
2. Permiten construcciones resistentes con apariencia estética y natural
3. Reducen el tiempo de construcción
4. Interactúan con el suelo que refuerzan, en forma muy eficiente.

5. Reducen costos de preparación de terrenos antes de iniciar la obra
6. Por su flexibilidad, garantizan un excelente comportamiento ante eventos sísmicos.
7. Reducen los espesores de capas en estructuras de pavimento y aumentan su vida útil.
8. Permiten usar el suelo existente en el sitio de la obra.
9. Facilitan la construcción en sitios de difícil acceso.
10. Ayudan a la preservación del medio ambiente.
11. Poseen amplia disponibilidad y son de fácil transporte e instalación.

5.12 Aplicación para darle una mayor vida útil a una carretera

- Aumento de la vida útil de las carreteras pavimentadas con la incorporación
- Prolongación de la vida útil de una carretera utilizando Geotextiles
- Utilización de Geotextiles para Recapeos asfálticos:

Uno de los campos de aplicación que ha tenido un mayor grado de desarrollo en la ingeniería vial, es la utilización en obras tales como la rehabilitación de pavimentos. Del correcto entendimiento sobre las propiedades de este tipo de materiales, de su aplicación, instalación, funciones a desempeñar, beneficios e incluso las mismas limitaciones que poseen, en buena parte dependerá el éxito que estos puedan tener, brindando de esta forma ahorros sustanciales en el mantenimiento de las obras viales que se ejecuten en nuestro país.

Antecedentes

La prolongación de la vida útil de las vías, ha sido una permanente preocupación por parte de las entidades públicas a nivel nacional e internacional, que se encargan de la ejecución y del posterior cuidado de

estas. Los ensayos realizados sobre nuevos materiales que racionalicen de alguna manera los costos de mantenimiento, que la estructura de pavimento requiere, han traído nuevos horizontes. Con la aparición de los geosintéticos y en especial los geotextiles, los investigadores han hecho un aporte significativo a la ingeniería, aclarando el desempeño de estos en aplicaciones específicas, como lo es en la rehabilitación de pavimentos.

A finales de la década de los sesenta, en el departamento de transporte de California, Caltrans, se comienza a experimentar con los geotextiles, teniendo en cuenta que la principal función, con la que estos deberían cumplir, era la de evitar la reflexión o calcado de grietas, reemplazando a sistemas tradicionales tales como las bases de gradación abierta. Después de casi dos décadas de ensayos en campo, laboratorio y de estudios, se logro cuantificar el beneficio de los geotextiles en los proyectos de repavimentación, estos se ha venido utilizando casi rutinariamente, a lo largo y ancho de la Unión Americana y de Europa.

En la utilización de los geotextiles en repavimentación, se debe tomar como otra alternativa los sistemas habituales constructivos utilizados en este tipo de obras, los cuales por lo general no contemplan más que la utilización de un ligante asfáltico, colocado sobre la superficie de la carpeta asfáltica antigua, de una manera poco ortodoxa. Además de la colación de la nueva capa de rodadura, que no contempla tan siquiera el uso de modificadores elastomericos para mejorar sus propiedades.

Funciones del geotextil

Si se entiende por refuerzo como la redistribución de fuerza, debido a la inclusión de un material rígido de alta resistencia a la tensión, cuyo módulo elástico sea mayor que el del material que irá a reforzar, al incluir un geotextil dentro de una estructura de pavimento, este no cumplirá con la definición de refuerzo, entonces se preferirá la utilización de otro término

para definir su comportamiento en este tipo de estructuras, este sería el de intercapa. Estas intercapas son usadas para prevenir o reducir el calcado (reflexión) de grietas, la aparición de grietas del tipo de piel de cocodrilo y los fenómenos de ahuellamiento y corrugamiento. Las dos funciones básicas que cumple el geotextil impregnado con asfalto para poder suministrar sus beneficios, son las de:

Barrera impermeabilizadora

A pesar de que el concreto asfáltico ha sido sometido, a un proceso de compactación y que su relación de vacíos es muy baja, hay que considerársele como un elemento permeable, a través del cual se infiltrará un gran porcentaje del agua superficial, que podrá llegar a las capas granulares y a la subrasante, ablandando estos suelos, afectando los parámetros de resistencia y deformabilidad. Otro efecto igualmente adverso es el incremento de presiones de poros que reduce los esfuerzos efectivos del suelo, además se presentará el efecto “prensa”, que hace disminuir la disipación de los esfuerzos producidos por cargas de tráfico a través de las capas granulares, siendo estos transmitidos directamente por el agua, que se encuentra entre las partículas del suelo a la subrasante. Con el fin de evitar las situaciones anteriores, es necesaria la colocación de una barrera impermeabilizadora, que detenga el proceso de infiltración, prolongando la vida útil del pavimento, disminuyendo los costos de mantenimiento y posponiendo un nuevo proceso de repavimentación.

Tal barrera deberá estar conformada por un geotextil no tejido, especial para aplicaciones de repavimentación, que servirá como medio para albergar una cantidad determinada, de cemento asfáltico hasta lograr su saturación, además de una cantidad adicional, para permitir la adhesión del geotextil a la capa asfáltica inferior (superficie antigua) y a la nueva capa de rodadura.

La cantidad de cemento asfáltico a utilizar, es uno de los puntos donde se debe tener un mayor cuidado. Una de las normas constructivas internacionales para repavimentación, (Task Force 25, compuesta por la AASHTO, la **AGC** y la **ARTBA**) que ha tenido la mayor aceptación por parte de los ingenieros viales en todo el mundo, exige que como mínimo la cantidad de cemento asfáltico para saturar el geotextil debe ser de 0.9 L/m^2 , esta es una de las razones por las cuales el geotextil a usarse debe ser un no tejido punzonado por agujas, gracias a su espesor y porosidad, que le permiten alojar tal cantidad de asfalto.

Se deben considerar otros factores adicionales para determinar, la cantidad adecuada del cemento asfáltico o ligante a usarse, que contempla el estado de porosidad del concreto asfáltico antiguo.

Una cantidad insuficiente de ligante podría causar que el geotextil, no se sature totalmente, perdiéndose el efecto de impermeabilidad o puede que la adhesión entre el geotextil y las capas de concreto asfáltico no sea suficiente, originando tiempo después, la aparición de pequeños baches. Una cantidad excesiva de ligante originará una superficie potencial de falla por deslizamiento, al igual que el conocido problema de la exudación de asfalto.

Membrana amortiguadora de esfuerzos

Cuando una capa de repavimentación, es colocada sobre la superficie antigua, los esfuerzos inducidos por agrietamiento, en la capa de concreto asfáltico antigua, pueden ser transmitidos hacia la nueva capa de repavimentación, originando un agrietamiento por reflexión temprana. Esto resulta del contacto entre agregados del pavimento antiguo y la capa nueva de repavimentación.

Al instalar un geotextil para repavimentación entre las capas de concreto asfáltico nuevas y viejas, ayuda a retardar el agrietamiento por reflexión, suministrando una capa flexible de espesor suficiente que absorbe parte de los esfuerzos entre la capa de pavimento antiguo y la capa de pavimento nuevo, permitiendo movimientos leves dentro de la intercapa del geotextil, sin tensionar la capa de repavimentación en concreto asfáltico.

De esta forma se prolonga la vida de servicio de las capas repavimentadas. Los geotextiles no tejidos impregnados con asfalto, tienen un módulo de elasticidad bajo y absorben las deformaciones sin transferirlas.

El geotextil para repavimentación alivia parcialmente la transferencia de esfuerzos inducidos por el tráfico en la cercanía de las grietas, actuando como una capa aliviadora de esfuerzos. La capa de base se protege de los esfuerzos cortantes generados por las cargas del tráfico y de aquí que sean toleradas deflexiones mayores. De estudios realizados se ha concluido que las 2/3 partes del alivio de esfuerzos se debe al cemento asfáltico que satura el geotextil y el resto es por el geotextil que funciona como contenedor.

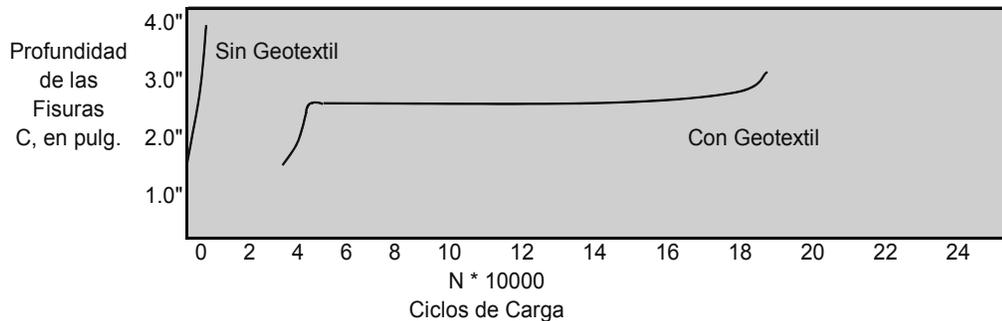
En el caso de que una estructura de pavimento en concreto tenga un espesor mayor, mayores serán los esfuerzos de tensión en la base, cuando se defleccione debido a las cargas de tráfico. La mayoría de los agrietamientos en los pavimentos, comienza en la base del pavimento debido a los esfuerzos de tensión, continuando hasta la superficie.

Al colocar una capa de repavimentación sin una intercapa de geotextil, se está incrementando el espesor total de la estructura del pavimento, aumentándose los esfuerzos a tensión en la base del pavimento promoviendo el agrietamiento.

Cuando se coloca una intercapa con geotextil, se está generando un efecto de separación, permitiendo un desplazamiento relativo entre capas.

Los esfuerzos de tensión generados, se podrán atribuir entonces al espesor individual de cada una de las capas, logrando disminuirlos.

Figura 46. Respuesta a la fatiga de la capa de repavimentación asfáltica



Mediante la colocación de una intercapa que absorba los esfuerzos inducidos por las cargas cíclicas de tráfico, las capas de concreto asfáltico experimentarían menos esfuerzos desarrolladores de grietas internas que aquellas secciones que no tengan intercapas. Debido a esto la vida útil de un pavimento, con una intercapa de geotextil para repavimentación, será mayor que la de un pavimento que no la tenga, tal como se muestra en Figura 46. La resistencia a la fatiga de una capa de repavimentación dependerá de las características de la membrana amortiguadora de esfuerzos incluyendo su módulo de elasticidad, espesor y de la cantidad de modificadores del asfalto.

Efectos del agrietamiento

Durante la vida de servicio de una estructura de pavimento, la superficie de ésta podrá sufrir defectos para las siguientes causas.

- Agrietamiento debido al envejecimiento de la capa de rodadura, movimientos por gradientes térmicos, movimientos relativos entre placas y por contracción. Inicialmente con la variación de

temperaturas se presenta la propagación inicial de las grietas y posteriormente éste efecto se aumenta, debido a la acción de las cargas generadas por el tráfico.

- Ahuellamiento debido a una falta de capacidad para resistir deformaciones.
- Agrietamiento por fatiga debido a efectos ambientales o a una falta de capacidad portante de la estructura.

El agrietamiento reduce la resistencia estructural del pavimento y lleva a un rápido deterioro de la construcción. Para que este ocurra, primero debe haber sufrido un proceso de iniciación. Las grietas crecerán como resultado de las cargas de tráfico, temperatura, deformaciones y calcado de grietas. A través de las grietas el agua penetrará, a las capas granulares y a la subrasante, reduciendo su capacidad portante, por esto debe prevenirse la infiltración, dando como posibles soluciones el sellamiento de las grietas o en casos más extremos la repavimentación. Para el último caso se utilizan geotextiles no tejidos impregnados con asfalto, sobre la capa de rodadura antigua.

Agrietamiento por fatiga.

Una grieta o fisura puede iniciarse y crecer como resultado de la repetición de cargas de tráfico. Cuando una rueda pasa, la abertura se flexiona, suministrando esfuerzos de tensión en los extremos de la grieta haciéndola crecer.

Agrietamiento por reflexión

Si la capa de repavimentación se aplica sobre grietas, los movimientos horizontales en las grietas existentes, también causarán deformaciones

horizontales en la capa de repavimentación, llevando a la continuación del crecimiento de la grieta existente en la capa de repavimentación, que se conoce como reflexión o calcado de grietas. Este agrietamiento ocurre debido a la diferencia de esfuerzos cortantes en ambos costados de la grieta. Pasa cuando una rueda pisa la grieta, cargando primero un borde de la grieta y posteriormente el otro.

Para evitar o retardar el agrietamiento por reflexión y el control de la infiltración a través del pavimento, existen los siguientes sistemas que pueden ser utilizados de manera individual o conjunta:

-Geotextiles para repavimentación: combinación de geotextil y asfalto, en casos donde las grietas no sean por fallas estructurales.

-Membranas de intercapa absorbentes de esfuerzos (**SAMI**): capas de cierto espesor con asfalto modificado.

-Sellos de arena-asfalto y sellos de asfaltos modificados: en procesos de agrietamiento incipiente.

Para escoger entre las opciones mencionadas anteriormente, es necesario llegar a una aproximación de ingeniería para cada problema específico, la cual debe incluir los siguientes ítems:

- Identificación del problema
- Evaluación de los factores y mecanismos involucrados.
- Análisis de las posibles soluciones y sus respectivas limitaciones
- Posibilidades en términos de la efectividad de cada solución versus los costos que acarrea.
- Análisis del proyecto y las consideraciones constructivas.

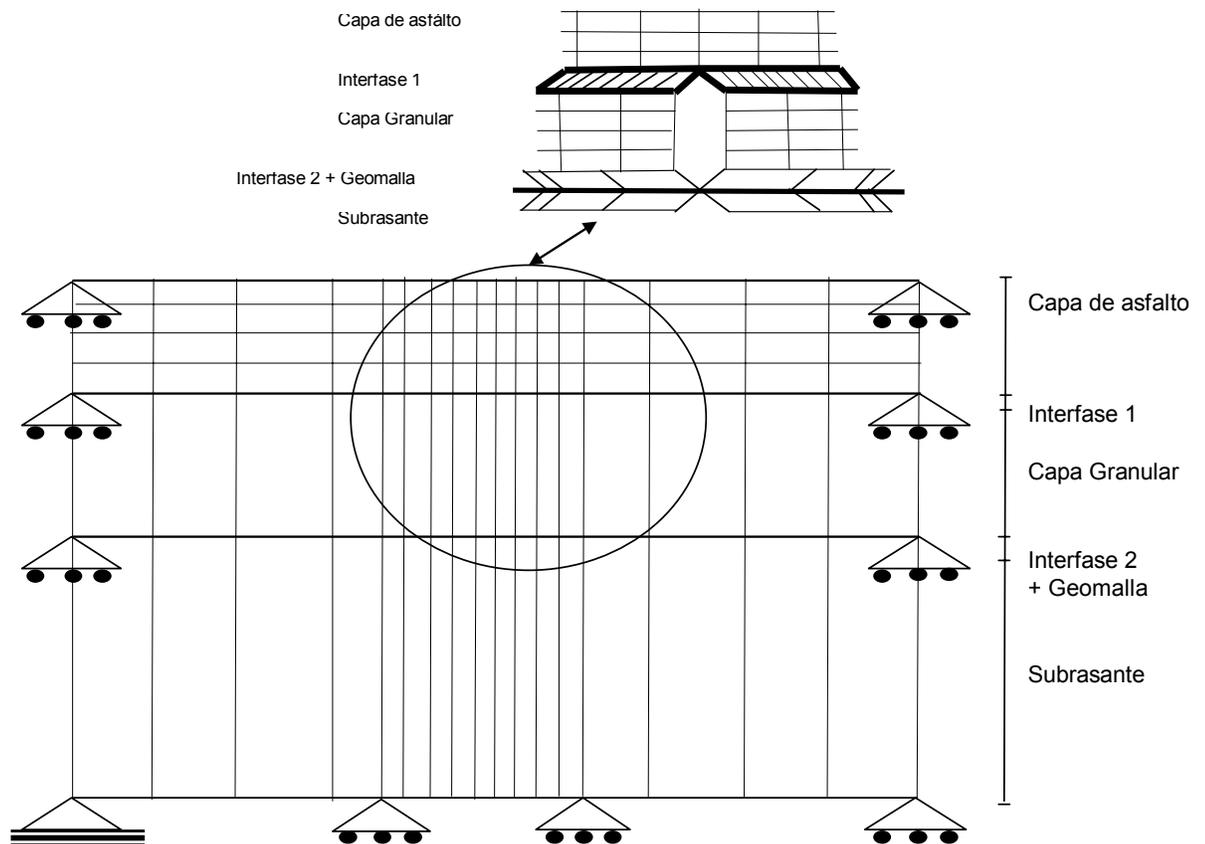
Pero aparte de esto, se debe mantener en la mente que el momento propio para comenzar con las construcciones de un sistema que retarda la aparición de grietas, es cuando apenas se vislumbran grietas de líneas delgadas en el pavimento. En este punto, apenas poca agua se ha infiltrado a través de la estructura como para ablandar y debilitar el suelo de la subrasante.

5.13 Aplicación de geomallas

Generalidades

La incorporación de las Geomallas en el diseño de carreteras pavimentadas tiene como objetivo principal aumentar la vida útil de estas estructuras. Este aumento puede ser estimado de forma bastante aproximada de la realidad por medio de análisis de elementos finitos (Teoría de Perkins e Ismeik, 1997). La Universidad de Tecnología de Delft, realizó varios análisis de elementos finitos para carreteras que presentaban Geomallas como refuerzo de subrasante y, basándose en tales análisis, determinó una cantidad del aumento de la vida útil de las carreteras para varios espesores y distintos valores de CBR. El modelo utilizado por la Universidad de Delft presentaba variables para subrasante, Geomalla, capa granular, capa asfáltica y cargas dinámicas (Figura 47.)

Figura 47. Modelo Utilizado por la Universidad de Delft para el análisis de elementos finitos de una estructura vial



Aumento de la vida útil de la carretera utilizando geomalla

En la Figura 48 se muestra el aumento de la vida útil de una carretera para una serie de valores de CBR utilizando una geomalla de la clase TRC-Grid 20. Al utilizarse TRC-Grid tipos 30 o 40 se debe multiplicar los valores mostrados por los siguientes factores:

-TRC-Grid 30 multiplicar por 1.04

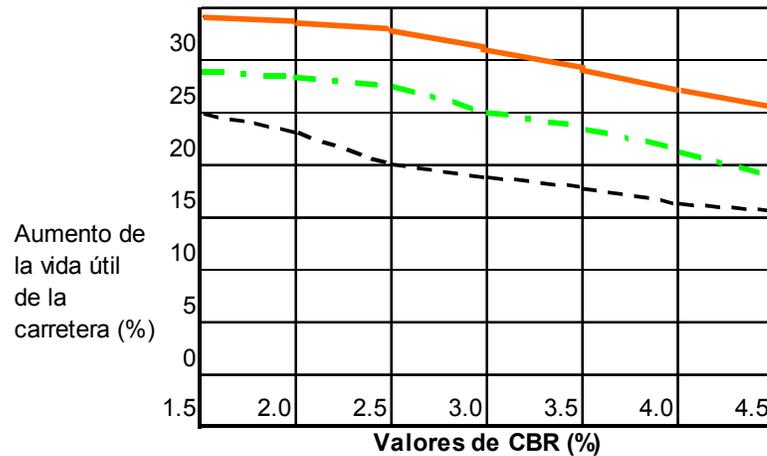
-TRC-Grid 40 multiplicar por 1.07.

También se deben tomar en cuenta otros parámetros necesarios los cuales son:

-Espesor de la capa de asfalto = 0.16

-Material de la capa granular = Base triturada

Figura 48. Aumento de la Vida Útil



Aumento de la vida útil de una carretera debido a la presencia de Geomalla

————— $D_u = D_r = 0.30m$

- - - - - $D_u = D_r = 0.45m$

- - - - - $D_u = D_r = 0.60m$

Geomalla utilizada para esta grafica es tipo TRC-Grid 20

5.14 Ejemplo de cálculo del aumento de la vida útil de una carretera utilizando geomallas como refuerzo

Supongamos que una carretera pavimentada tenga un proyecto con vida útil de X años.

Los detalles estructurales de esta carretera son:

-Espesor de capa asfáltica (D_a)= 0.15 m

-Material granular: Base triturada

-Espesor de la capa granular (D_r)= 0.40m

-Valor del CBR de la subrasante:=2%

¿Cuál sería la vida útil de esta carretera si se incorpora una Geomalla en el proyecto?

Considerando incorporar una Geomalla tipo TRC-Grid 40 a la carretera veremos en cuanto puede aumentarse la vida útil de esta carretera.

Haciendo referencia a la Figura 48 vemos el aumento de la vida útil para el TRC-Grid 20 deberá ser:

Para $D_r = 0.30\text{m}$ y $\text{CBR} = 2\%$: el aumento es del 17.5%

Para $D_r = 0.45\text{m}$ y $\text{CBR} = 2\%$: el aumento es del 23.0%

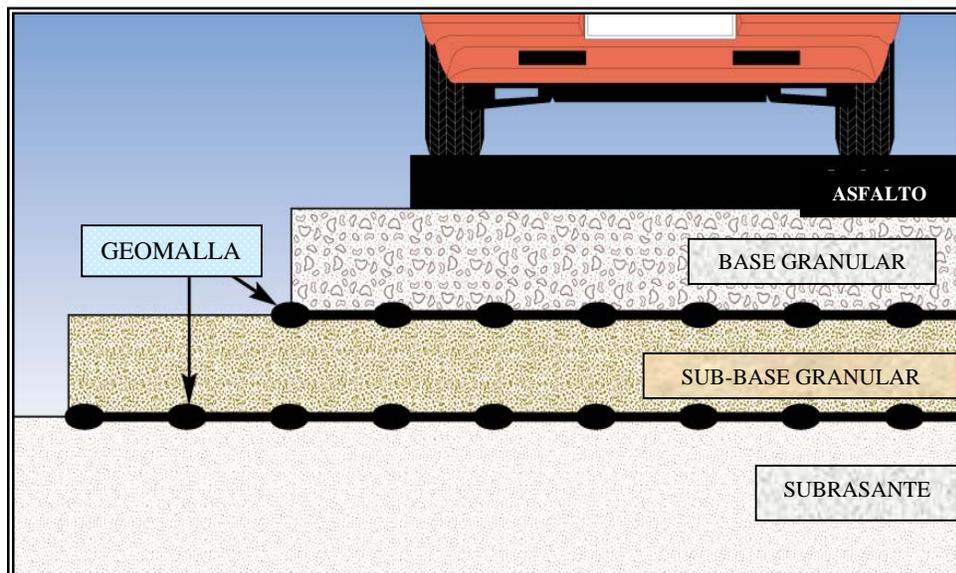
Entretanto para $D_r = 0.40\text{m}$ encontramos (a través de interpolación lineal) que el aumento en la vida útil será:

$$17.5 + ((23-17.5)/(0.45-0.30)) \times (0.40-0.30) = 21.2\%$$

La corrección del factor para el TRC-Grid 40 es de **1.07**, así siendo el aumento total de la vida útil del pavimento será:

$$\text{Vida Útil} = 1.07 \times 21.2 = 22.70\%$$

Figura 49. Distribución de refuerzo en estructura de pavimento



6 EJEMPLOS DE APLICACIONES DIVERSAS DE GEOSINTÉTICOS EN CARRETERAS

6.1 Refuerzo para base de pavimento

Pavimentos construidos sobre suelos de baja capacidad de soporte, reforzado en la base por un geosintético con resistencia a la tracción para garantizar la estabilidad de la estructura y minimizar asentamientos diferenciales.

Solución sugerida

Para evitar la contaminación entre capas entre la base granular y subrasantes con CBR = 4%, hasta 8% se puede utilizar el geotextil tejido.

Además de actuar como separador también proporciona refuerzo.

Para refuerzo de pavimentos apoyados sobre subrasantes < 3%

El propósito de la utilización de los geosintéticos en carreteras pavimentadas es prevenir las fisuras a través de la minimización de los asentamientos diferenciales.

Datos

- r = profundidad aceptable del asentamiento (m)
- N_u = número de ejes equivalentes durante la vida de la estructura
- F = máx. carga del eje (x. carga del eje (kN))
- CBR = resistencia de Subrasante no drenada (no drenada (kPa)
- $\beta_{f,bc}$ = ángulo de distribución de cargas en la base no compactada (°)
- **Tipo de Geosintetico** = 20, 30 o 40 (Características específicas)

•

Resultados

- D_u = espesor de la capa de agregados (base) sin refuerzo (m)
- D_r = espesor de la capa de agregados (base) con refuerzo (m)
- ΔD = reducción (ahorro) de la capa de agregados (m)

Ejemplo

Paso 1: Calcular **Dr** para la situación sin pavimento

Paso 2: Chequear la capacidad de soporte de la capa granular (1) y de la subrasante (2) para la situación pavimentada.

• Datos

–**Dr** = espesor con refuerzo (m) (Giroud & Noiray)

–**Np** = número de ejes equivalentes durante la vida de la estructura

–**Da** = espesor de la capa de asfalto (m)

– γ_a = peso específico del asfalto (kN/m³)

– γ_f = peso específico del material granular (kN/m³)

– **β_a** = ángulo de distribución de las cargas en el asfalto (°)

– **β_f** = ángulo de distribución de las cargas en el material granular (°)

– ϕ' = ángulo de fricción del material granular (°)

–**CBR** = resistencia de la Subrasante no drenada (%)

–**Nc** = factor de capacidad de soporte de la Subrasante

Descripción del proyecto

Diseño de carretera pavimentada sobre suelo blando con vida útil de 20 años.

1. Proyecto de carreteras no pavimentadas para servicio durante la construcción
2. Chequeo de la estabilidad de la capa granular y de la subrasante para la situación pavimentada durante la Vida útil de la carretera.

Paso 1: Determinación de la carga de los ejes

Fu = 80 kN

Paso 2: Estimativa del número de pasadas del eje: 100 ejes por día; $N_u = 10.000$,

Paso 3: Máx. Grado de deformación durante la construcción. $r = 0.15$ m

Paso 4: Tipo de material granular: Cantos rodados (Grava de río)

Paso 5: Ángulo de distribución de las cargas en el material granular (cargas en el material granular ($^\circ$)) $\beta_{f,bc} = 26^\circ$

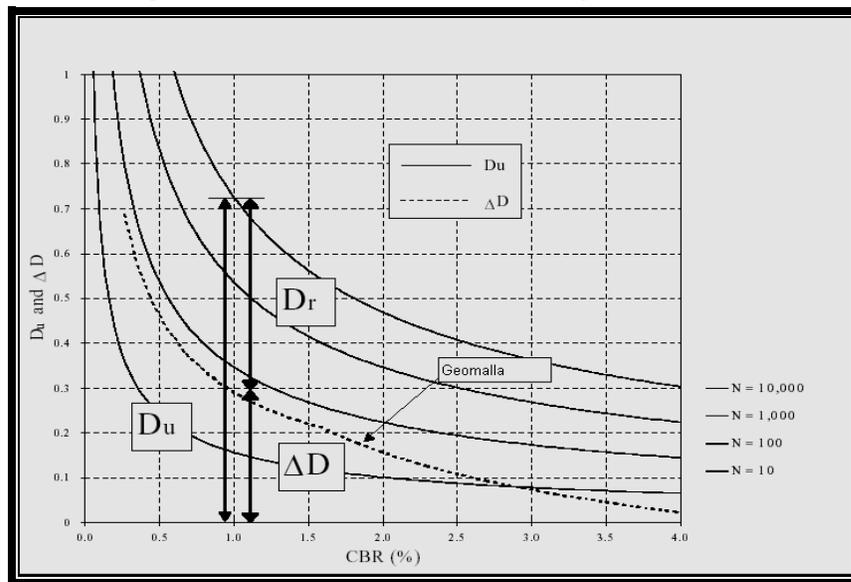
Paso 6: Resistencia del suelo - subrasante

CBR = 1.0 %

Paso 7 Elección del tipo de Geomalla (Para efectos ilustrativos se utilizara la Geomalla TRC –Grid)

Geomalla TRC-Grid 40

Figura 50. Curva para $r = 0.15$ m y $F_u = 80$ kN



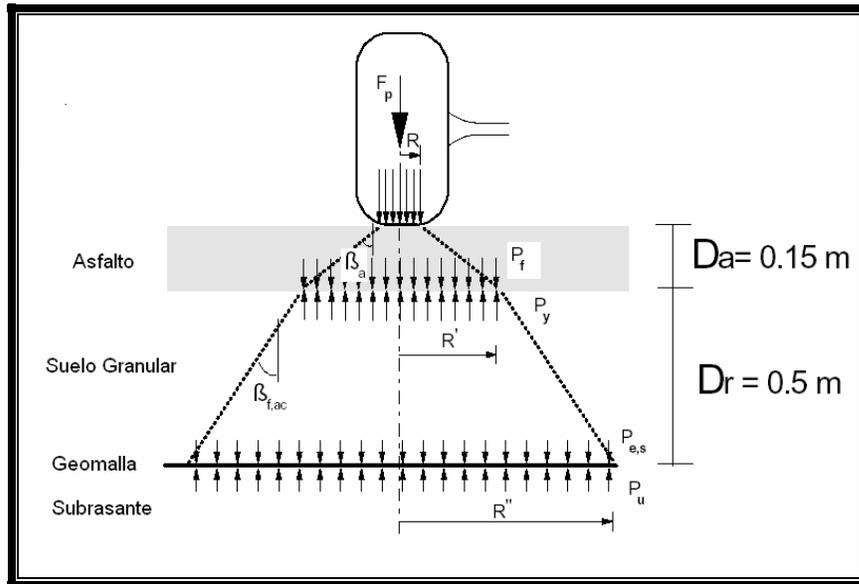
Paso 8: Espesor de la capa granular: $D_u = 0.73$ m (= 0.8)

Paso 9: Espesor de la capa granular

CBR, TRC-Grid 40, $D_r = 0.44$ m (=0.5)

Paso 10: Reducción con TRC--Grid = $D_u - D_r \cdot \Delta D = 0.29 \text{ m}$ (= 39%)

Figura 51 Distribución de las presiones



Etapa 2: situación pavimentada

Paso 11 Determinación de R' y R''

$$R' = R + D_a \cdot \tan \beta_a = 0.35 \text{ m}$$

$$R'' = R' + D_r \cdot \tan \beta_{f,ac} = 0.74 \text{ m}$$

Paso 12 Presión en la capa F_p

$$P_f = \frac{F_p}{\pi (R')^2} + \gamma_a D_a = 237 \text{ kPa}$$

Paso 13: Máx. Capacidad de soporte la capa granular.

$$P_y = 0.6 R' \cdot \gamma_f \cdot N_{\square} = 328 = 328 \text{ kPa}$$

Chequeo 1: Estabilidad de la capa granular:

$$P_y/P_f = 1.4 \text{ (mínimo es 1.1)}$$

Paso 14: Número de pasadas de ruedas

$$N_p = 10,000,000.00$$

Paso 15: Carga de rueda equivalente

$$F_e = F_p \left(\sqrt[6.2]{N_p} \right) = 1,211.00 \text{ kN (De Groot, 1986)}$$

Paso 16: Presión equivalente en la subrasante:

$$P_{e,s} = \left(\frac{F_e}{\pi(R'')^2} \right) + \gamma_a \cdot D_a + \gamma_f \cdot D_f = 717 \text{ kPa}$$

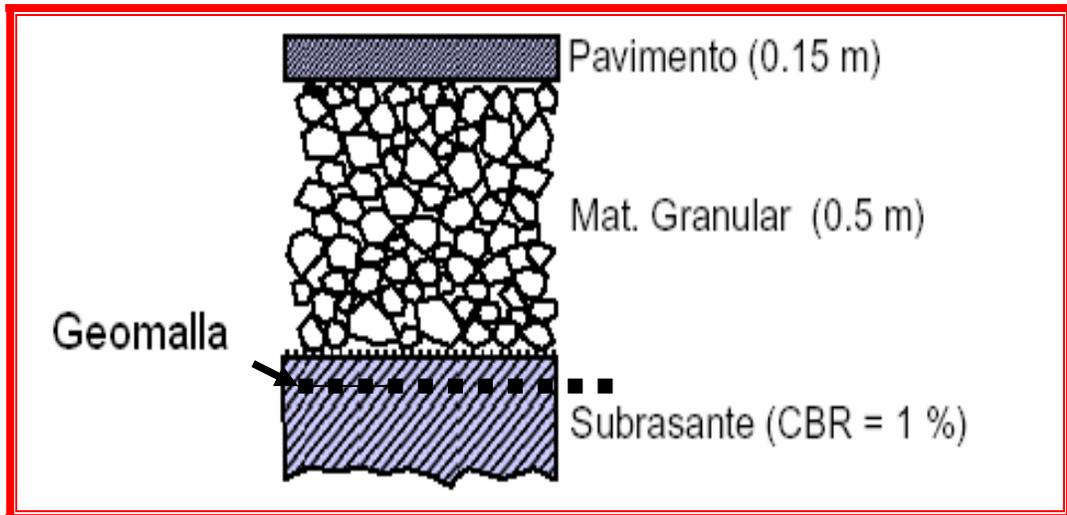
Paso 17: Máxima. Capacidad de soporte de la subrasante
(Houlsby & Jewell, 1990)

$$P_u = N_c \cdot \text{CBR} \cdot 30 \left[\frac{R''}{R} \right]^{\uparrow 2} = 2,337 = 2,337 \text{ kPa}$$

Chequeo 2: Estabilidad de la subrasante

$$\left[\frac{P_u}{P_{e,s}} \right] = 3.3 \text{ (mínimo es 1.5)}$$

Figura 52. Diseño final pavimento con refuerzo



6.2 Ejemplo de colocación de materiales

Figura 53. Colocación de base granular sobre geomalla



Figura 54. Colocación de base granular



Caso de aplicación

Estabilización del suelo de cimentación del terraplén para la construcción del 3er carril de la autopista Milán-Génova, Lombardia, Italia

Figura 55. Aplicación material de base sobre geosintético



LOCALIZACIÓN	Lombardia, Italia
PROPIETARIO	Autostrada Milano-Serravalle SpA
PROYECTISTA	Da Rios Consultants – Milano

CONTRATISTA Torno SpA, Itinera SpA, Progetti Costruzioni SpA, Rabbiosi SpA, Grassetto SpA

El problema a resolver

Para mejorar la calidad de sus servicios, Autostrada Milano-Serravalle SpA decidió aumentar la sección Milán - Río Po de la carretera, construyendo un tercer carril. La investigación geotécnica demostró que el terreno natural, en el nivel de subrasante, tenía una plasticidad alta y estaba formado por arcillas muy compresibles. En estas condiciones, se esperaban altas deformaciones en el terraplén debido a los asentamientos. Una solución tradicional tendría los siguientes problemas:

- La presencia de grandes espesores de arcillas compresibles y depósitos arenosos;
- La necesidad de evitar asentamientos diferenciales;
- Presupuestos y limitaciones de tiempo.

La solución adoptada al problema

Para estabilizar la base del terraplén y evitar asentamientos diferenciales sin grandes trabajos de movimiento de tierras, se seleccionó la siguiente solución: Una capa de geocompuesto se colocó en la base del terraplén para drenar el agua subterránea. Una capa de 0.30 mts. de material granular se colocó y compactó al 95% del Proctor modificado. Una capa de geomalla bi-orientada se instaló para reforzar el suelo y se cubrió con 0.30 mts de material granular.

La geomalla es específicamente diseñada para refuerzo de bases y distribuye las cargas de manera uniforme. La geomalla refuerza el suelo mediante 2 mecanismos principales: resistencia a los esfuerzos de tensión y trabazón, que evita cualquier movimiento lateral de las partículas del suelo. La perfecta conexión entre la geomalla y el suelo viene tanto de la fricción en

el área sólida de la geomalla, como del empuje pasivo generado por las nervaduras transversales de las geomallas sometidas a carga.

Para definir la colocación del refuerzo, ensayos de carga sobre el suelo de cimentación y sobre la capa reforzada con geomalla, se llevaron a cabo. El módulo elástico pasó de 3-4 MPa en el suelo de cimentación a 17-18 MPa por arriba de la capa de refuerzo. Las especificaciones de la Autopista fijaron un valor del módulo elástico mínimo de 15 MPa.

Conclusiones obtenidas después de aplicación

La geomalla bi-orientada y el geocompuesto, utilizados satisfactoriamente en ocasiones anteriores, confirmaron su efectividad técnica y económica. El uso de los geosintéticos permitió obtener las siguientes ventajas:

- Una significativa reducción de la mano de obra
- Un mejoramiento substancial de la calidad de la estructura
- Mas metros cuadrados de base reforzada y drenaje ejecutados por unidad de tiempo: Un equipo de 4 trabajadores instaló 200 m de base de refuerzo por día (4000 m² por día)
- Alta capacidad de drenaje a menor costo comparado con una capa de grava
- Alto modulo elástico en la base, alcanzado con una instalación mas rápida
- Reducción del espesor de la base: de 1.50 m requeridos para una sub base tradicional, a 0.60 m requeridos para una base estabilizada con geosintéticos.

Al mismo tiempo, la solución con geosintéticos permitió reducir el impacto ambiental que hubiera ocasionado la gran cantidad de grava que un diseño tradicional hubiese requerido.

6.3 Aplicación en Guatemala

Proyecto: Construcción de Intersección de Carretera CA – 9 con Carretera Puerto de San José – Iztapa, Paso a Desnivel Puerto Quetzal.

Problema a Solucionar:

Se debía construir terraplenes para elevar el nivel de la rasante para que el agua proveniente del nivel freático no se traslade hacia las capas superiores de la estructura del pavimento. Por la proximidad del nivel freático no se podía realizar la limpieza del terreno como lo indican las normas, dando como resultado que el suelo quedara contaminado y con material orgánico en algunos tramos de la carretera, por lo que el relleno que se colocaría se contaminaría.

La solución que el diseñador propuso fue utilizar un material geosintético, el cual debería ser capaz de suministrar separación entre los materiales, tanto el suelo natural y el material importado que serviría para construir los terraplenes para llegar a la cota requerida de acuerdo al diseño original.

El material Geosintético que utilizó el contratista en este caso fue un Geotextil No Tejido de las siguientes características:

Tabla XXI Propiedades de geotextiles no tejidos

Propiedad		Norma	Unidad	Valor Medio	Valor M.A.R.V.*
Resistencia a Tracción (Grab Test)	MD	ASTM D	N	550	520
	CD	4632	N		450
Elongación	MD	ASTM D	%	> 60	> 60
	CD	4632	%		> 70
Resistencia a Tracción (Faja Ancha)	MD	ASTM D	kN/m	9	8
	CD	4595	kN/m		7
Elongación	MD	ASTM D	%	45-55	45-55
	CD	4595	%		50-60
Resistencia al Estallido (Mullen Burst)		ASTM D 3786	kPa	1.450	1.200
Resistencia al Punzonado		ASTM D 4533	N	330	280
Resistencia al Punzonado CBR		EN ISO 12236	kN	1,9	1,3
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	MD	ASTM D	N	240	220
	CD	4533			200
Permisividad Flujo de agua Permeabilidad Normal		ASTM D 4491	s ⁻¹	2,8	2,4
			l/s/m ²	150	115
			cm/s	4,3x10 ⁻¹	4x10 ⁻¹
Transmisividad Permeabilidad Planar		ASTM D 4716	cm ² /s	0,08	0,07
		Presión 20 kPa	cm/s	6,2x10 ⁻¹	6x10 ⁻¹

MD: Dirección de fabricación

CD: Dirección Transversal a fabricación

(*) M.A.R.V. (Minimum average roll value): Valor superado por el 95% de los resultados de ensayos.

El Geotextil no tejido fue colocado en la parte inferior del terraplén, siendo su única función la de separación, para lo cual fue diseñado, y no trabaja como refuerzo.

Aplicación: Durante la construcción de la carretera se instaló el Geotextil No Tejido a lo largo de la subrasante, conforme el avance de la obra cubriéndolo de inmediato para que se viera expuesto la menor cantidad de tiempo posible a los rayos ultravioleta y así conservara sus características en un 100%, se realizaron los traslapes requeridos para que su función fuera efectiva. Por parte de la empresa supervisora se inspeccionó específicamente cada metro cuadrado que fue instalado verificando que el Geotextil estuviera en óptimas condiciones para cumplir la función encomendada.

El comportamiento observado del Geosintético para la función de separación de materiales a sido satisfactoria, logrando que los materiales fueran separados adecuadamente y las propiedades del material de préstamo se conservaran al no tener ningún tipo de contaminación con el material de la subrasante. En la siguiente fotografía se puede apreciar el Geosintético ya instalado y en proceso de ser cubierto por el material que constituiría el terraplén.

Figura 56. Geosintético aplicado en subrasante



Figura 57. Aplicación de material de préstamo sobre geotextil



Figura 58. Compactación de material de préstamo sobre geotextil



Se puede apreciar el Geotextil instalado y el equipo de compactación trabajando sobre la capa de material seleccionado. (Proyecto Paso a desnivel Puerto Quetzal)

Resultados obtenidos y cantidad de material geosintético utilizado

Para este proyecto se utilizaron 70,000.00 metros cuadrados de Geotextil No Tejido, obteniendo resultados satisfactorios a lo largo del proceso de construcción tales como:

Separación entre el material seleccionado como préstamo y el subyacente natural, (el suelo natural era demasiado fino) evitando la migración y contaminación de ambos suelos, manteniendo las características propias de cada uno, conservando inalterable el diseño original.

Garantía de que será una barrera que conserve el buen funcionamiento de los materiales utilizados para la construcción del terraplén y con el paso del tiempo no exista ninguna migración en ambos sentidos, por lo cual su aplicación fue lo más conveniente para este tipo de construcción sobre un suelo blando, el cual incidiría en posibles asentamientos de la estructura ya terminada.

Figura 59. Proyecto concluido y en funcionamiento



**-Proyecto: Reparación de calles Interiores del recinto de Empresa
Portuaria Santo Tomas de Castilla**

En la fase de reparación y modernización de las instalaciones de la Empresa Portuaria Santo Tomas de Castilla, en Puerto Barrios, Izabal, se realizo el proyecto de reconstrucción de las calles interiores del recinto portuario.

En este caso el pavimento existente había fallado totalmente, desde las capas inferiores, por lo que las autoridades decidieron que se debía realizar una reconstrucción completa de la estructura del pavimento.

Las autoridades de la Empresa Portuaria, a través de la unidad Técnica de Ingeniería determinaron que la mejor alternativa que se necesitaba adoptar para que fuera duradera y capaz de soportar las cargas extremas de los contenedores que son transportados por las calles del recinto portuario al desembarcar y embarcar, fue la de utilizar un refuerzo con geotextil tejido.

La Solución

Los trabajos de reconstrucción del pavimento, consistieron en el retiro del pavimento existente el cual había fallado en toda la estructura, teniendo grandes baches los cuales dificultaban la circulación vehicular. En el diseño se considero la remoción de material inapropiado que existía en las capas inferiores del pavimento, sustituyéndolo por material de préstamo, se realizo una excavación a todo lo ancho de las calles y a una profundidad aproximada de 1.50 metros. Durante la excavación se llego al nivel freático, la cual hacia difícil la colocación del material de préstamo que debía ser colocado.

Dentro del diseño de la nueva estructura del Pavimento se consideró la instalación de un material Geotextil tejido al nivel de la capa de subrasante, el cual debía proporcionar dos funciones principales.

- a) Separación y drenaje al nivel de subrasante.

El material que el diseñador seleccionó para que cumpliera con estas funciones fue una tela Geotextil Tejida, la cual debía cumplir con los siguientes requisitos mínimos para su aceptación:

- resistencia promedio a la tracción de 38 kN/m (31 kN/m valor mínimo MARV).
- resistencia a la tensión, al 2% y al 5% de deformación

-Los geotextiles de refuerzo o estabilizadores alcanzan altas resistencias en sus costuras: en la dirección transversal, hasta de 100 kPa (10kg/cm² ó 100 Ton/m²). El resultado fue una alta resistencia uniforme en todas las direcciones, la cual ayudo grandemente en la construcción, especialmente en las condiciones más débiles y en presencia de agua.

De acuerdo al Ingeniero Raúl Osoy Penados, Superintendente por parte de la Constructora Topsa Construcciones, S.A. La instalación del material facilitó la ejecución de los trabajos de construcción del terraplén, el Geosintético se comportó de manera eficiente, logrando resultados óptimos y minimizando tiempos de ejecución de la obra, ya que la estabilización lograda fue la adecuada. En términos generales se logró evitar que existiesen deflexiones al nivel de base y se mejoró la capacidad soporte del cuerpo del terraplén en general.

Al culminar la obra los resultados fueron satisfactorios, obteniendo el desempeño que fue requerido por parte de los diseñadores.

-Caso de aplicación: Geotextil tejido en pavimentación de calle del municipio de Villa Nueva, Guatemala.

Instalación de geotextil tejido en la estructura del pavimento

Problema: Dentro de los trabajos de rehabilitación del pavimento del Municipio de Villa Nueva, se presentaron entre otros problemas el de la red de agua potable, la cual esta instalada a muy poca profundidad, lo que implicaba que se debía de readecuar a una profundidad mayor para que no interfiriera con los trabajos inherentes a la estructura del pavimento, puesto que se encontraba dentro de los límites de construcción de la subrasante.

Debido a la poca profundidad de la tubería de agua potable, la homogenización de la subrasante no se podía efectuar hasta que no fuera

resuelto el problema de readecuación de la tubería a la profundidad adecuada. Debido al alto costo de la obra y al poco tiempo disponible para la ejecución de los trabajos, se requería evaluar alguna otra opción que fuera efectiva y rápida, la cual debería de cumplir los requisitos necesarios para ser aceptados.

Solución adoptada: Para dar una solución efectiva y rápida se opto por la utilización de un refuerzo, los cuales permiten, bajo determinadas condiciones, que no se trabaje la subrasante obteniendo resultados muy buenos. El principal objetivo era llegar a una capacidad soporte adecuada para que la estructura del pavimento, fuera capaz de soportar las cargas vehiculares a las cuales estaría sometida, por lo que se incorporó un Geotextil Tejido, con el cual se cubrió los requerimientos y funciones que se necesitaban:

- A) Función principal refuerzo
- B) Función secundaria separación

La función de refuerzo la realiza el Geotextil Tejido la realizo incrementando el Valor Soporte (CBR) del suelo natural que existía, debido a la distribución homogénea de las cargas vehiculares y a la transmisión en menor cuantía de éstas a la subrasante débil, sin necesidad de homogenizarla, logrando una estabilización rápida y efectiva.

La función de separación la realiza el Geotextil Tejido, confinando el suelo y evitando la segregación y la contaminación de la capa granular de la sub-base y base, conservando sin modificación el valor estructural del diseño original calculado.

Resultados obtenidos:

Se logró el incremento del Valor Soporte de la capa de subrasante sin necesidad de homogenizar el suelo existente. Se agilizó el trabajo y se

disminuyó el tiempo de ejecución de la obra, obteniendo una continuidad, sin los molestos retrasos debido al cambio de la red de agua potable.

No se necesitó reacondicionar la red de agua potable, con lo que se evitó que la población se viera afectada por la falta de este servicio el cual es vital, y las molestias de estar realizando zanjas para adecuar las tuberías, ahorrando así valioso tiempo, sin mencionar que los costos de esta readecuación le son trasladados a los vecinos a través de los programas de pagos por mejoras.

6.4 Refuerzo de base de carretera U' Zulia - Venezuela

En la zona de lagunillas estado de Zulia - Venezuela, se construyó una carretera de primer orden que atraviesa una zona pantanosa, humedal permanente, con muy baja capacidad de soporte (0,25% CBR). Para atravesar esta zona, se ha utilizado con éxito un geotextil tejido como refuerzo de la base de la carretera. Se describen las condiciones geotécnicas, especificaciones de la obra y condiciones de trabajo.

La técnica de refuerzo de suelos para carreteras en humedales con geosintéticos altamente conocida en los países desarrollados, es por el contrario, prácticamente ignorada en Venezuela, principalmente por el hecho de que estos materiales no se estudian aún en las universidades venezolanas.

Un ejemplo típico de esta situación es el que se describe a continuación sobre la construcción de la carretera **U'- ZULIA**. Esta carretera de primer orden, une la troncal Lara – Zulia con la avenida circunvalación Lagunillas – Ciudad Ojeda, en el Sur del Lago de Maracaibo y fue diseñada para un tráfico de 375 vehículos/h. La zona de lagunillas sufre de subsidencia por efecto de la extracción de petróleo. Todos los proyectos que se hacen en esa región deben tomar en cuenta este fenómeno y extrapolar la tasa de

hundimiento a lo largo de la vida útil de la obra. En el caso de la carretera U' de 20 Km de longitud, los primeros 17 Km transcurren a través de los suelos con buena capacidad de soporte (CBR = 31%) y su proyecto sigue los lineamientos tradicionales, pero los últimos 3 Km., al unirse con la Av. Intercomunal, el trazado debe atravesar la ciénaga de El Polvorín, humedal permanente, cruzado por diversas redes de tuberías petroleras, con un CBR de 0,25%.

Figura 60. Área antes de inicio de trabajos



En esa zona el proyecto original indicaba excavar la primera capa de suelo orgánico del fondo de la laguna y sustituirlo por 20.000 m³ de piedra de cantera, con un costo de 1 millón de dólares. Los equipos de movimiento de tierra se hundían irremediablemente en ese terreno, lo cual paralizó los trabajos hasta que se aceptó la recomendación de utilizar geotextil tejido para reforzar la base de la carretera.

El geotextil recomendado fue el de tipo tejido. Como este geotextil tiene más resistencia a la tensión en el sentido transversal se recomendó colocarlo a lo largo, paralelo al eje de la carretera logrando transmitir mejor los esfuerzos de tensión entre las telas y por un ahorro en los traslapes debido al bajo valor de CBR se cosieron uno con otro a lo largo.

Un equipo de 3 obreros logró un rendimiento de 2.000 metros lineales de costura por jornada.

Figura 61. Obreros cociendo el geotextil



La recomendación a la constructora fue de colocar el geotextil tejido sobre el agua y hundirlo con pequeños rellenos, dado que su peso específico de 0,9 no permitía que se hundiese solo.

Esta idea les pareció demasiado audaz y prefirieron drenar la ciénaga, el rendimiento de colocación fue mejor, pero el costo de bombeo también fue apreciable. Adicionalmente se recomendó hacer el relleno desde las orillas del geotextil hacia el centro, para disminuir las tensiones durante la construcción.

Figura 62. Colocación de material sobre geosintetico



El material para el relleno del terraplén, no tenía una granulometría ideal pues presentó una pasante de 40% en el tamiz No. 200, sin embargo su alto

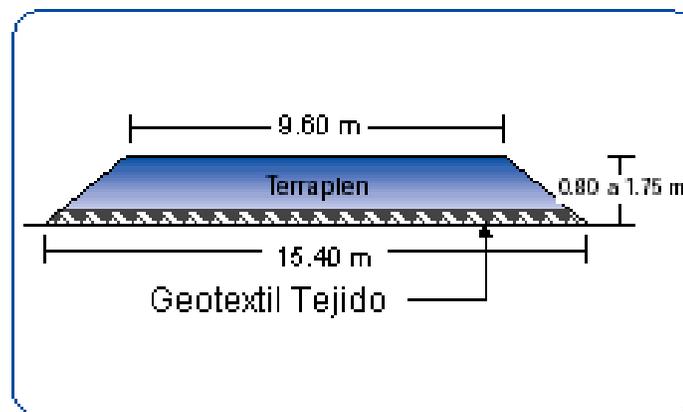
contenido de arcilla permitió lograr una buena compactación, sus límites de Atterberg fueron:

- LL = 23,4
- IP = 7,1
- LP = 16,3

Mientras que el ensayo de Proctor modificado indicó una densidad máxima seca de 2,060 Kg/m³ y una humedad óptima de 9,6%.

La sección del relleno de la carretera aparece en la siguiente figura:

Figura 63. Estructura de pavimento diseñada



La carretera atravesaba varios puentes de tuberías, algunos de los cuales habían sido construidos sobre pilotes. Para evitar las cargas sobre estas tuberías cuando ocurriese el asentamiento del terraplén de la carretera, se recubrieron las tuberías con alcantarillas metálicas. En los pasos de alcantarillas de concreto se utilizó también geotextil para reforzar la base de las mismas.

De esta manera se colocaron 38,300 m² de geotextil a un costo 4 veces menor que el calculado con el material granular.

La obra se terminó en marzo de 1999, la evaluación después de cuatro años el beneficio de la tecnología de los geotextiles en la practica a resultado efectivo, por el perfecto estado de la vía.

Figura 64. Carretera en condiciones para entrar en servicio.



CONCLUSIONES

1. **Mayor consistencia a la estructura:** el refuerzo dado por un Geosintético colocado entre las capas estructurales de un pavimento posibilita un notable aumento en la vida útil de la carretera (con el consiguiente ahorro en costos de mantenimiento) y/o posibilita la reducción de los espesores necesarios para las distintas capas estructurales, reduciendo notablemente los movimientos de tierra y muchas veces evitando la necesidad de importación de materiales de préstamo de características especiales. La función que cumple el geosintético en la estructura del pavimento se puede dividir en dos tipos de funciones de la misma dentro de las capas estructurales de la carretera: el confinamiento lateral de la base granular y la función de membrana tensionada sobre la subrasante.
2. Los desperfectos generalizados indicativos de agotamiento estructural, que comprende una pérdida de capacidad de resistencia (fisuras, cuarteo, deformación del perfil longitudinal, hundimientos, depresiones, etc.) son los que plantean la necesidad de estudiar el refuerzo de la base
3. **Geotextiles de Separación:** desde el punto de vista estructural, la contaminación de las capas granulares, la mezcla de suelos de diferentes características y el comportamiento mecánico del suelo de subrasante son factores de gran influencia en el deterioro de las vías, lo que se traduce en una reducción de la capacidad portante de todo el sistema. La metodología tradicional de diseño de vías contempla un espesor adicional de material granular para compensar el material que

se mezcla y se contamina con el suelo de subrasante, perdiendo todas sus propiedades y características iniciales; sin embargo, éstos diseños no tienen en cuenta el mismo proceso que se desarrolla a largo plazo y que trae como consecuencia un deterioro de las capas que conforman la estructura, lo que lleva a una disminución considerable del periodo de vida útil establecido.

4. **Reducción de espesores de la estructura:** con la utilización de Geosintéticos se llega a reducir espesores de las capas de la estructura de Pavimento (sub base, base), siendo menor el uso de agregados pétreos, con esta reducción se ayuda a conservar el medio ambiente y se logra reducir la contaminación ambiental.

5. **Mejor distribución de cargas:** con el uso de Geosintéticos dentro de la estructura del pavimento, se logra que las cargas aplicadas sean distribuidas en un área más amplia en la subrasante, esto debido a que el Geosintético resiste los movimientos laterales, logrando un rendimiento mejorado bajo una carga dinámica de tráfico, maximizando la capacidad de carga del pavimento, reduciendo la posibilidad de formación de surcos, contaminación del relleno y fallas por esfuerzos cortantes debido a que se ha excedido la capacidad portante de la subrasante.

6. En resumen, los efectos de la utilización de un geosintético de refuerzo sobre la capa de subrasante de una estructura de pavimento son los siguientes:
 - Incrementos de la capacidad portante del sistema (subrasante, sub base y base)
 - Reducción de los espesores de las capas granulares sin reducir su funcionamiento en el largo plazo

- Mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales que conforman la estructura de pavimento
- Incremento de la vida útil de la vía
- Aumento de los ejes equivalentes de diseño de la vía
- Incremento del factor de seguridad
- Reducción de los desplazamientos durante la construcción
- Reducción de los asentamientos diferenciales en la base de la estructura
- Reducción en costos al utilizar una cantidad mucho menor de material de relleno
- Reducción del tiempo de construcción debido a la fácil instalación de los geosintéticos.

7. Las geomallas cumplen funciones similares a las de los geotextiles. Sin embargo, la elección del geosintético que proporcione mejores condiciones de trabajo debe ser el resultado de comparar la funcionalidad de cada producto para las condiciones particulares de un proyecto, el grado de competencia óptimo entre estos dos materiales se encuentra en su aplicación en terrenos cuya capacidad portante se encuentre en un rango de CBR del 3% al 5%.

El método de diseño con geosintéticos debe garantizar la optimización de todos los factores que se encuentran en torno a la materialización del proyecto. Se deben evaluar todas las alternativas posibles de manera que la elección de este diseño, de resultar viable, satisfaga todos los criterios de evaluación. El uso responsable de estos materiales en el país debe realizarse a través de la participación conjunta del Estado, proveedores y empresas contratistas.

8. La selección adecuada de los Geosintéticos, debe basarse además del diseño, en la confiabilidad que otorgue el proveedor por los resultados de laboratorio propios y externos que demuestren las propiedades reales del

material a corto y a largo plazo. Los Geosintéticos deben ser considerados como un material más que los diseñadores deben tener en cuenta para ser aplicados en sus diferentes proyectos viales.

9. En Guatemala su utilización se esta incrementando, por ejemplo en la construcción del paso a desnivel en la intersección de la entrada a Puerto Quetzal, Escuintla se utilizo un geotextil no tejido, el cual su función fue de separación y filtración colocado a nivel de subrasante, sobre la cual fue colocado un terraplén con una altura promedio de 2.00 metros, esto fue realizado en el año 2004.
10. En el municipio de Villa Nueva, en el casco urbano fue colocado un geotextil Tejido como refuerzo de la subrasante en la construcción de las calles principales en los años 2003 – 2004. En la ciudad Capital se ha utilizado en muchos lugares el Geotextil No Tejido, uno de los casos que se puede mencionar es en la Calle Marti, en donde se utilizo sobre la capa de rodadura anterior, para la colocación de un recapeo, sin tener que trabajar la base y tampoco realizar algún tipo de perfilado en la capa de rodadura antigua.
11. La utilización de geosintéticos como refuerzo puede llegar a reducir los espesores tanto de la capa de sub base como de la base, en un porcentaje aproximado entre 15.00% y 30.00%. También se puede sustituir la capa de SubBase conservando el Numero Estructural requerido para el tráfico esperado.
12. Con la incorporación de geosintéticos a nivel de subrasante se tiene un incremento de CBR que oscila entre el 15.0% y el 24.0% dependiendo de las propiedades de los materiales utilizados.

13. El incremento de la vida útil de una estructura de pavimento se puede incrementar en un promedio de 20.0% con la incorporación de un geosintético, con respecto al valor original calculado en condiciones normales sin refuerzo de algún tipo.

14. Es importante resaltar que con la reducción de espesores de la estructura de pavimento y el aumento de la vida útil, se obtienen grandes beneficios, tanto en reducción de tiempo de ejecución como de costo total de la obra a ser ejecutada.

RECOMENDACIONES

1. Además de la supervisión e inspección periódica que debe realizar el personal encargado de la conservación de carreteras, es necesario que las bases sean inspeccionadas, al menos una vez al año, por un Ingeniero especialista en la materia, en la época mas adecuada, de acuerdo con las características climáticas de cada zona.

Esta inspección deberá atender no sólo a la base, sino todo lo que pueda tener influencia en su estado, tal como:

- Cunetas, desagües, drenajes, etc.
- Hombros
- Plataformas y taludes.

Para refuerzo de la estructura de pavimento se debe utilizar el geosintético con las características adecuadas, para que su funcionamiento sea el que se requiere. Los más usados en refuerzo son El Geotextil Tejido y la Geomalla, los cuales son adecuados para realizar la función de refuerzo.

2. Los Geotextiles No Tejidos se deben utilizar únicamente como función de separación y drenaje, por lo que no se deben utilizar como refuerzo, ya que sus características y propiedades no lo permiten.

3. Día a día se debe enfrentar el reto de construir estructuras en lugares donde el área disponible es reducida y en sitios marginales donde no se dispone de materiales de construcción adecuados, el suelo de fundación es compresible y de baja capacidad portante, y/o se tienen serias limitaciones ambientales, por lo que la metodología de diseño se debe

basar en el análisis de las deformaciones y esfuerzos que se presentan en la estructura del pavimento, por lo que se debe usar un método racional de diseño de pavimentos.

4. El diseño inicial sin Geosintético es esencial para definir el aporte estructural del Geosintético en el pavimento y las variables que se asumen para el diseño son las mismas que se utilizan en la metodología de refuerzo, por lo tanto se debe hacer una evaluación de las condiciones de cada caso o proyecto, para tener una buena aproximación de lo que va a ocurrir en la realidad y así tener una alternativa de diseño que funcione correctamente durante el periodo de diseño de la vía.

5. Para lograr el mayor beneficio de los Geosintéticos en estructuras de pavimento es importante usarlos con las características y propiedades adecuadas, soportadas por un diseño ó como mínimo que cumplan con una especificación que garantice su supervivencia durante la vida útil proyectada, para cada caso en particular. Para separación y estabilización en la interfase Subrasante-Subbase granular, el geotextil tejido debe ser de buena capacidad de flujo para evitar presiones de poros indeseables. Para refuerzo de suelos granulares el geosintético debe usarse al nivel del mayor esfuerzo.

El método de diseño con geosintéticos debe garantizar la optimización de todos los factores que se encuentran en torno a la materialización del proyecto. Se deben evaluar todas las alternativas posibles de manera que la elección de este diseño, de resultar viable, satisfaga todos los criterios de evaluación.

Es necesario hacer claridad sobre la imposibilidad de crear un modelo único para el diseño con geosintéticos. Esto se debe a la gran cantidad de factores que involucra este procedimiento y a lo específico que puede llegar a ser

para cada proyecto. Así pues, no existe un algoritmo o un programa que pueda decidir de forma general cómo el geosintético va a mejorar alguna condición dentro de un proyecto de pavimentación. El uso responsable de estos materiales debe realizarse a través de la participación conjunta del Estado, las empresas productoras y las empresas constructoras.

BIBLIOGRAFÍA

1. AASHTO Provisional Standards –Interim Edition” – Recommended Practice for Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures, AASHTO Designation PP46-01 april 2001.
2. Elias, V. , Chistopher, B.R. Berg, Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforcement Soil Slopes, Design and Construccin Guidelines. Federal Highway Administracion Departament of The Army. marzo 2001.
3. Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, Dirección General de Caminos Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, septiembre 2001.
- 4.- “Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base/Sub base Courses of Pavement Structures” – Geosynthetic Materials Association, june 2000.
5. “Geogrid Reinforced Base Courses for Flexible Pavements for Light Aircraft: Literature Review and Test Section Design” – Steve L. Webster - US Army.
6. Girouyd J.P. and Noiray, L. “Geotextile Reinforced Unpaved Roads Design,” Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 107. 1981.
7. Guía de Diseño para el Mejoramiento de Subrasantes bajo carga dinámica con geomallas Tensar, Tecnologías Exclusivas S.A. Argentina, febrero 2001.

8. "Literature Review on Geotextiles to Improve Pavements for General Aviation Airports" - Dewey W. White, Jr. – US Army Engineer Waterways Experiment Station U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration. february 1991.

9. Manual de Diseño, Departamento de Ingeniería, Primera Edición Geosistemas de Amanco, Colombia, enero de 2003.

10. XIII CONGRESO ARGENTINO DE VIALIDAD Y TRÁNSITO Comisión: Pavimentos Flexibles, "USO DE GEOMALLAS PARA MEJORAMIENTO DE CAMINOS Y SUBRASANTES". Argentina, marzo 2002.

APÉNDICE

Geomallas

Tabla XXII Características y especificaciones mínimas de la geomalla biaxial para refuerzo estructural

PROPIEDAD	METODO DE ENSAYO	UNIDAD	VALOR	
			TIPO 1	TIPO 2
TAMAÑO DE ABERTURA:	ASTM D 4751	Pulg.	1.0 nom.	1.0 nom.
		Pulg.	1.3 nom.	1.3 nom.
ESPESOR				
Costilla	ASTM D 1777- (64)	Pulg.	0.03 nom.	0.05 nom.
Junta	ASTM D 1777 -(64)	Pulg.	0.11 nom.	0.16 nom.
MÓDULO INICIAL REAL EN USO:		kN/m (lb/ft)		
MD	GR1 - GG1 - 87		226.4 (15,170)	481.2 (32,980)
XMD	GR1 - GG1 - 87		360.1 (24,685)	652.5 (44,725)
CAPACIDAD A LA TENSIÓN AL 2% DE ELONGACIÓN		kN/m (lb/ft)		
MD	GR1 - GG1 - 87		4.09 (280)	5.98 (410)
XMD	GR1 - GG1 - 87		6.57 (450)	8.75 (600)
CAPACIDAD A LA TENSIÓN AL 5% DE ELONGACIÓN		kN/m (lb/ft)		
MD	GR1 - GG1 - 87		8.46 (580)	11.82 (810)
XMD	GR1 - GG1 - 87		13.42 (920)	19.55 (1,340)
CAPACIDAD DE LAS JUNTAS		kN/m (lb/ft)		
MD	GR1 - GG1 - 87		11.2 (765)	15.8 (1,080)
XMD	GR1 - GG1 - 87		17.1 (1,170)	25.9 (1,778)
RIGIDEZ FLEXURAL	ASTM D 1388-96 OPCION A	mg/cm	250,000	750,000
RIGIDEZ TORSIONAL	US COE PRELIMINAR	kg-cm/deg	3.2	6.5
RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN	EPA 900			
A LARGO PLAZO	INMERSIÓN	%	100	100
MD: Dimensión del rollo longitudinalmente XD: Dimensión del rollo transversalmente				

Tabla XXIII. Especificaciones geomallas biaxiales Tensar®

Normas ASTM

• D1505	Método de Prueba Estándar de Densidad para Plásticos Mediante la Técnica del Gradiente de Densidad
• D1238	Método de Prueba Estándar de Tasas de Flujo de Termoplásticos por el Plastómetro de Extensión
• D2455	Identificación de Ácidos Carbónicos en Resinas Alcalinas
• D374C	Método de Prueba Estándar de Espesor Por Aislamiento Sólido Eléctrico
• D1388	Rigidez Flexural
• D4355	Práctica del Muestreo de Geosintéticos para Pruebas
• D4603	Método de Prueba Estándar para Determinar la Viscosidad inherente del Polietileno
• D5262	Método de Prueba Estándar para la Valoración de la Deformación por Tensión del Comportamiento de los Geosintéticos

Cuerpo de Ingenieros

• COE	CW02215 Porcentaje de Abertura
-------	--------------------------------

Geosynthetic Research Institute

• GG1	Método de Prueba Estándar para Costillas de Geomallas Sometidas a Esfuerzos de Tensión
• GG2	Método de Prueba Estándar para Juntas de Geomallas Sometidas a Esfuerzos

Tabla xxiv. Propiedades geomallas Tensar

PROPIEDAD Geomalla Biaxial BX 1100	MÉTODO DE PRUEBA	UNIDAD	VALOR
ENTRELAZAMIENTO			
<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño de Apertura <ul style="list-style-type: none"> • MD • CMD • Área de Abertura • Espesor <ul style="list-style-type: none"> • Costillas • Juntas 	I.D. Calibrador Método COE ASTM D1777-64	Pulg. Pulg. % Pulg. Pulg	1.0 1.3 70 0.03 0.11
REFUERZO			
<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia Última a Tensión <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la tensión al 2% de deformación • Resistencia a la tensión al 5% de deformación • Rigidez Flexural • Módulo de Tensión (real inicial) • Juntas <ul style="list-style-type: none"> • Esfuerzo <p align="center">Geomalla para refuerzo estructural con una rigidez torsional mínima</p>	GRI – GG1 – 87 MD XD MD XD ASTM D1388-64 GRI – GG1 –87 MD XD MD XD	KN/m Lb/ft KN/m Lb/ft KN/m Lb/ft KN/m Lb/ft mg-cm KN/m Lb/ft KN/m Lb/ft KN/m Lb/ft KN/m Lb/ft KN/m Lb/ft KN/m Lb/ft KN/m Lb/ft cm kg/deg	4.09 280 6.57 450 8.46 580 13.42 920 250000 204.5 14000 328.5 22500 11.2 765 17.1 1170 4.2
MATERIAL			
<ul style="list-style-type: none"> • Alta Densidad • Polipropileno resistente a esfuerzos (SRPP) • Negro Carbón (Protección UV) 	ASTM D4101 Tipo III/ Clase 1 / Grado 2 ASTM 4218	% %	98 0.5
• Tipo de producto	Geomalla estructural formada integralmente		
• Mecanismo de transferencia de cargas	Entrelazamiento mecánico positivo.		

MD: Dirección Principal – Longitudinal a la dirección del rollo

XD: Dirección Transversal – Transversal a la dirección del rollo

Tabla XXV. Propiedades geomalla biaxial Tensar

PROPIEDAD	MÉTODO DE PRUEBA	UNIDAD	VALOR	
Geomalla Biaxial BX 1200				
ENTRELAZAMIENTO				
<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño de Apertura <ul style="list-style-type: none"> • MD • CMD • Área de Abertura • Espesor <ul style="list-style-type: none"> • Costillas • Juntas 	I.D. Calibrador	Pulg.	1.0	
			Pulg.	1.3
		Método COE	%	70
		ASTM D1777-64	Pulg.	0.05
			Pulg.	0.16
REFUERZO				
<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia Última a Tensión <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la tensión al 2% de deformación • Resistencia a la tensión al 5% de deformación • Rigidez Flexural • Módulo de Tensión (real inicial) • Juntas • Esfuerzo • Geomalla para refuerzo estructural con una rigidez torsional mínima 	GRI – GG1 – 87			
		MD	KN/m	5.98
			Lb/ft	410
		XD	KN/m	6.57
			Lb/ft	600
		MD	KN/m	11.82
			Lb/ft	810
		XD	KN/m	19.55
			Lb/ft	1340
		ASTM D1388-64	mg-cm	750000
		GRI – GG1 –87		
		MD	KN/m	299
		Lb/ft	25000	
	XD	KN/m	437.5	
		Lb/ft	30000	
	MD	KN/m	15.8	
		Lb/ft	1080	
	XD	KN/m	26	
		Lb/ft	1178	
		cm kg/deg	8.5	
MATERIAL				
<ul style="list-style-type: none"> • Alta Densidad • Polipropileno resistente a esfuerzos (SRPP) • Negro Carbón (Protección UV) 	ASTM D4101			
		Tipo III/ Clase 1 / Grado 2	%	98
	ASTM 4218	%	0.5	
• Tipo de producto	Geomalla estructural formada integralmente			
• Mecanismo de transferencia de cargas	Entrelazamiento mecánico positivo.			

MD: Dirección Principal – Longitudinal a la dirección del rollo

XD: Dirección Transversal – Transversal a la dirección del rollo

Las geomallas biaxiales **TENSAR®** tipo BX 1100 y BX 1200, deberá satisfacer los requerimientos especificados en las disposiciones especiales para el proyecto. Son fabricadas a partir de resinas de polímeros de alto peso molecular.

Tabla XXVI. Características geomalla Tenax LBO 302 SAMP

Propiedades medidas	Valor Principal	Desviación estándar	95% de confiabilidad
Resistencia a la Tensión	TD 34.66 kN/m	1.19 kN/m	32.71 kN/m
Deformación en el punto de fluencia	TD 9.92%	2.57%	----
Módulo Tensión al 2% deformación	TD 608 kN/m	50.3 kN/m	525 kN/m
Módulo Tensión al 5% deformación	TD 476 kN/m	29.2 kN/m	429 kN/m
Resistencia a la Tensión	MD 19.8 kN/m	0.59 kN/m	18.85 kN/m
Deformación en el punto de fluencia	MD 19.15 %	0.66 %	----
Módulo Tensión al 2% deformación	MD 325 kN/m	18.3 kN/m	295 kN/m
Módulo Tensión al 5% deformación	MD 234 kN/m	9.40 kN/m	180 kN/m

Geotextiles

- Figura 65. Geotextil no tejido marca Bidim

▼ PROPIEDAD	▼ EXIGENCIA MEDIA	▼ NORMA
Resist. (mín) a tracción (long.):	10 kN/m	IRAM 78012 ASTM D4595 ISO 10319
Elongación rotura:	45 - 55 %	
Resist. (mín) punzonado (pisón CBR):	2 kN	IRAM 78011 ISO 12236
Resist. (mín) desgarre trapecoidal (long.):	300 N	ASTM D4533
Permeab. Normal (mín):	0,40 cm/s	IRAM 78007 ASTM D4491 ISO 11058
Abertura de filtración:	0,13 - 0,23 mm	ASTM D4751 ISO 12956

Figura 66. Geotextil no tejido (AMANCO)

Propiedad		Norma	Unidad	Valor Medio	Valor M.A.R.V.*
Resistencia a Tracción (Grab Test)	MD	ASTM D 4632	N	550	520
	CD		N		450
Elongación	MD	ASTM D 4632	%	> 60	> 60
	CD		%		> 70
Resistencia a Tracción (Faja Ancha)	MD	ASTM D 4595	kN/m	9	8
	CD		kN/m		7
Elongación	MD	ASTM D 4595	%	45-55	45-55
	CD		%		50-60
Resistencia al Estallido (Mullen Burst)		ASTM D 3786	kPa	1.450	1.200
Resistencia al Punzonado		ASTM D 4533	N	330	280
Resistencia al Punzonado CBR		EN ISO 12236	kN	1,9	1,3
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	MD	ASTM D 4533	N	240	220
	CD				200
Permisividad		ASTM D 4491	s ⁻¹	2,8	2,4
Flujo de agua			l/s/m ²	150	115
Permeabilidad Normal			cm/s	4,3x10 ⁻¹	4x10 ⁻¹
Transmisividad Permeabilidad Planar		ASTM D 4716	cm ² /s	0,08	0,07
		Presión 20 kPa	cm/s	6,2x10 ⁻¹	6x10 ⁻¹

MD: Dirección de fabricación

CD: Dirección Transversal a fabricación

(*) M.A.R.V. (Minimum average roll value): Valor superado por el 95% de los resultados de ensayos.