

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**APLICACIÓN DE GEOMALLAS EN VÍAS AFIRMADAS**  
**DISEÑO DEL REFUERZO ENTRE BASE Y SUB-BASE**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de**

**INGENIERO CIVIL**

**EDWARD CABRERA CASTILLO**

**Lima- Perú**

**2007**

### **AGRADECIMIENTO:**

Con el más profundo agradecimiento a mis Padres (Oscar e Inés), mis abuelos (Nazario y Teodora), mis hermanos (Marco, Miguel, Oscar, John y Zenaida), a mi nueva familia (Teresa y Sebastian), a mi entrañable Casa de Estudios: LA UNI, y mis mejores amigos (Raul y Victor) por haberme guiado, apoyado en todo momento.

Gracias Dios, gracias a todos

## ÍNDICE

	<u>Página</u>
<b>RESUMEN</b> .....	01
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	02
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	02
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	04
<b>CAPÍTULOS</b>	
<b>CAPÍTULO 1 – GEOMALLAS</b>	
1.1 Conceptos Generales.....	06
1.2 Propiedades.....	07
1.3 Funcionamiento y Aplicaciones Generales.....	09
1.4 Aplicación de la Geomalla en Vías.....	12
<b>CAPÍTULO 2 - METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS</b>	
2.1 Metodología ASSHTO 93 para diseño de pavimentos.....	19
2.2 Método ASSHTO para diseño de pavimentos flexibles reforzado con geomallas.....	24
<b>CAPÍTULO 3 - DISEÑO DE PAVIMENTO CON APLICACIÓN DE GEOMALLAS ENTRE SUB-BASE Y BASE</b>	
3.1 Parámetros de Entrada .....	27
3.2 Calculo de diseño convencional de pavimentos.....	27
3.3 Calculo de diseño de pavimentos con aplicación de geomallas entre la base y la sub-base.....	31
<b>CAPÍTULO 4 - INSTALACIÓN Y PROYECTOS DE APLICACIÓN DE GEOMALLAS</b>	
4.1 Instalación de la Geomalla.....	36
4.2 Aplicaciones reales en carreteras.....	38
<b>CONCLUSIONES</b> .....	39
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	41
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	42
<b>ANEXOS 01: Panel Fotográfico</b> .....	43
<b>ANEXOS 02: Especificaciones Técnicas de la Geomalla Bx 1100</b> .....	46
<b>ANEXOS 03: Características de la Geomalla en un Proyecto</b> .....	47
<b>ANEXOS 04: Planos del Proyecto</b> .....	48

## RESUMEN

El presente informe tiene como fin ilustrar acerca de las ventajas obtenidas por la utilización de las geomallas para el refuerzo de base, en carreteras con pavimentos flexibles y rígidos y en carreteras sin pavimentar.

Lo que se buscó era aplicar el diseño de las geomallas en un tramo experimental, el cual se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio Nacional de Hidráulica. La aplicación se centró en el mejoramiento de la subrasante, debido a que ésta presentaba un CBR de 0.5%.

Para el diseño de mejoramiento de la subrasante con la geomalla, se desarrolló con la teoría de Giroud – Han.

Después de hacer un análisis en base a los resultados obtenidos, indicar que el uso de las geomallas tiene sus ventajas cuando el diseño está enfocado a mediano y largo plazo, más aun cuando los requerimientos son exigentes, por el contrario si estos requerimientos son mínimos como el caso de nuestro informe, la geomalla no aporta mayor ventaja.

Una ventaja es su rápida instalación, no se necesita personal especializado.

La aplicación de las geomallas, para el refuerzo de base resulta relativamente novedosa en nuestro país, que son ampliamente utilizados en otras latitudes especialmente en Norte América donde ya se han instalado mas de 170 millones de m<sup>2</sup> de geomalla, con lo que considerando un camino de 7.2 mts de calzada mas 1.2 mts de berna ha ambos costados, se tendría 17,700 km de carretera en operación (XIII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito – Ing. Sandra Pérez e Ing. Daniel Alzamora), generando beneficios técnicos y económicos.

El diseñador decidirá para un proyecto determinado si la aplicación de las geomallas es la más conveniente en base a una matriz de decisión, donde dependerá de varios parámetros (rapidez de instalación, costo de mantenimiento, costo inicial, disponibilidad de materiales y equipos, etc.)

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 01	Diseño de pavimentos flexibles, método AASHTO 1993
Tabla N° 02	Variación de espesores, de acuerdo ha CBR de subrasante
Tabla N° 03	Comparación de Espesores de acuerdo a diseño

## LISTA DE FIGURAS

- Figura Nº 01    Geomalla Uniaxial
- Figura Nº 02    Geomalla Biaxial Tensar
- Figura Nº 03    Proceso de Fabricación de la Geomalla Tensar
- Figura Nº 04    Mecanismo de trabazón del material granular con la geomalla
- Figura Nº 05    Transferencia de esfuerzos por resistencia pasiva
- Figura Nº 06    Zapato de nieve, distribución de carga
- Figura Nº 07    Construcción convencional vs. Construcción con geomalla Tensar
- Figura Nº 08    Mecanismo mediante la cual la geomalla otorga esfuerzos de tensión
- Figura Nº 09    Construcción convencional
- Figura Nº 10    Construcción con geomalla, donde se nota el ahorro del material
- Figura Nº 11    Mecanismo de refuerzo de las geomallas, en la capa base
- Figura Nº 12    Refuerzo de las geomallas, evitando desplazamiento lateral
- Figura Nº 13    Ensayos para obtener el valor de TBR (Traffic Benefit Ratio)
- Figura Nº 14    Programa Spectra Pave, para calcular el aporte de la geomalla
- Figura Nº 15    Determinación de Espesor de Capa de Revestimiento Granular
- Figura Nº 16    Catálogo gráfico del Manual de Diseño
- Figura Nº 17    Valores de TBR, según el U.S. Army Corps of Engineers
- Figura Nº 18    Forma correcta de colocación de material de relleno
- Figura Nº 19    Colocación de geomallas en zona de curva
- Figura Nº 20    Trabajos de extender material de relleno, por encima de las geomallas

## INTRODUCCIÓN

El presente informe de sustentación para obtener el título de Ingeniero Civil, comprende la aplicación de las Geomallas en los pavimentos, específicamente el tema se enfoca en reforzar la capa base del pavimento flexible y rígido y refuerzo de una vía afirmada, donde no existe mucha literatura o experiencias al respecto.

La aplicación de las geomallas por lo general se da en la construcción de pavimentos flexibles y rígidos, colocándolas a nivel de subrasante ó en entre la capa base y sub-base.

En el informe se tratará de diseñar, analizar, encontrar una metodología que permita diseñar la estructura del pavimento a nivel de afirmado, con el aporte de la geomalla.

En nuestro país como en otros, la prolongación de la vida útil de las vías ha sido una permanente preocupación por parte de las entidades públicas, y de los profesionales ligados al campo de las obras viales que se encargan de la elaboración de proyectos, ejecución y del posterior cuidado de éstas.

La aplicación de estas nuevas soluciones en países en vías de desarrollo, cuando los tipos de suelos sobre el que se va a construir, son blandos ó presentan CBR menores del 3%, pueden resultar más beneficiosos técnica y económicamente. Muchas veces los costos de construcción, mantenimiento y de operación de obras construidas con nuevas tecnologías resultan más económicos que las soluciones tradicionales. Así mismo cabe indicar que son soluciones más duraderas.

Es claro que la construcción de vías y carreteras es vital para el desarrollo y progreso de un país, y en el caso nuestro sobre todo en las zonas de la sierra y selva, donde muchos suelos tiene CBR bajos, es importante contar con una solución a estos suelos que sea económica.

Para elaborar el presente informe, en el proceso de diseño se utilizó la Geomalla Biaxial BX 1100. Esta misma geomalla se tomó para el diseño y la

aplicación práctica desarrollada en un tramo experimental en el Laboratorio Nacional de Hidráulica, donde el propósito ha sido el Mejoramiento de la Subrasante, y no Refuerzo de la Base.

En el capítulo 01, se hace una presentación de las geomallas, definiciones, tipos de geomallas, propiedades físicas, mecánicas y químicas, como es el funcionamiento dentro de la estructura del pavimento, las aplicaciones en los diferentes campos, y en forma especial en las vías (mejoramiento de subrasante, refuerzo de base ó la combinación de ambos).

En el capítulo 02, se hace un desarrollo de la metodología que se emplea en el diseño de pavimentos flexibles en forma tradicional (AASHTO 93), definiendo cada parámetro que interviene en el diseño. Está misma metodología se utiliza, cuando se va a diseñar con la inclusión de la geomalla, en el refuerzo de la capa base, donde entra a tallar un nuevo parámetro TBR (Traffic Benefit Ratio – Factor de Mejoramiento de Tráfico).

En el capítulo 03, se realiza el diseño del pavimento a nivel de afirmado sin refuerzo y con refuerzo de las geomallas en la capa base, tomada del Manual de Bajo Volumen de Tráfico del MTC, para el tipo de tráfico T2:  $1.5 \times 10^5$  EE (Ejes Equivalentes). Posteriormente se hace una comparación de los diseños.

En el capítulo 04, se desarrolla la forma correcta como se instala la geomalla en las vías, en tramos en tangente, tramos en curva, como se debe realizar el proceso de compactación, los cuidados a tener en las primeras capas. También se describe los principales proyectos donde se ha aplicado las geomalla, principalmente en el continente americano.

## CAPÍTULO 1

### GEOMALLAS

#### 1.1 Conceptos Generales.

A continuación se presentará algunos conceptos generales:

**Geomalla.-** La geomalla es un material geosintético polimérico constituido por juegos de costillas paralelas conectadas, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón mecánica con suelos, piedras u otro material geotécnico.

Dichas costillas pueden ser fabricadas de diferentes materiales, y las juntas en las cruces son hechas usando diversos métodos. Existen geomallas uniaxiales y biaxiales, de diferentes tamaños de abertura.

**Geomalla Uniaxial.-** Son para aplicaciones en las cuales la dirección de los esfuerzos principales mayores es conocida. En el proceso de fabricación la lámina de polietileno de alta densidad, es perforada con agujeros circulares y posteriormente estirada en un sentido llegando a ser elipses alargadas. Por tanto su estructura molecular es fuertemente alargada y la resistencia, el módulo y la resistencia a la deformación por carga sostenida son incrementadas.

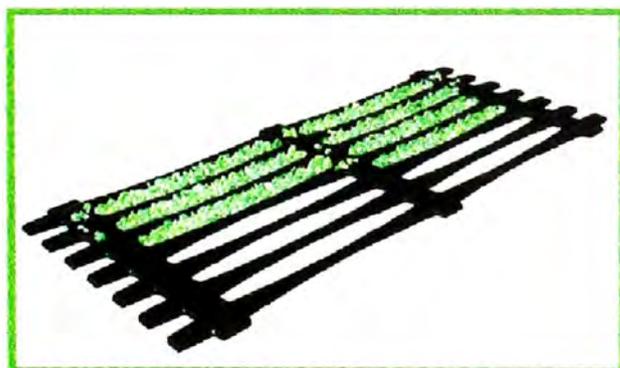


Figura N° 01.- Geomalla Uniaxial

**Geomalla Biaxial.**- Son para aplicaciones en las cuales la dirección de los esfuerzos no está definida ó los esfuerzos principales se movilizan al azar. En el proceso de fabricación la lámina de polipropileno perforada con agujeros cuadrados es estirada en ambos sentidos, formando finalmente aberturas casi cuadradas o rectangulares; así la resistencia se incrementa en ambas direcciones.

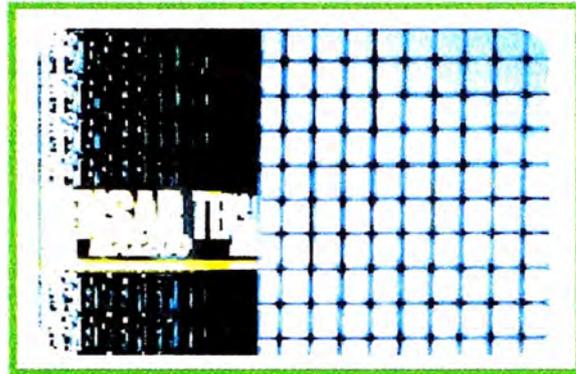


Figura N° 02.- Geomalla Biaxial Tensar

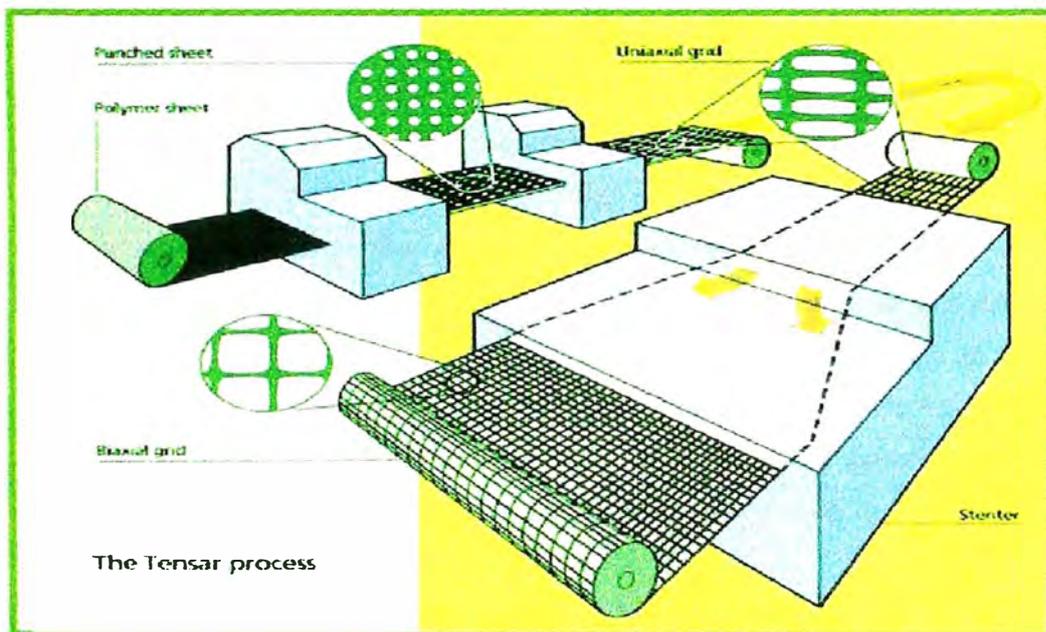


Figura N° 03.- Proceso de fabricación de la geomalla biaxial TENSAR.

## 1.2 Propiedades.

A continuación se presentará las distintas propiedades físicas, mecánicas y químicas.

**Propiedades físicas.-** Son propiedades que pueden ser medidas o determinadas directamente. Estas incluyen el tipo de estructura, tipo de junta, tamaño de abertura y espesor.

- ▶ Masa por unidad de área, que varía de 200 – 1000 gr/m<sup>2</sup>.
- ▶ Porcentaje de área abierta, que fluctúa entre 40% - 95%.
- ▶ Rigidez, este puede ser medido mediante el ensayo de rigidez flexural ASTM D 1388, las geomallas rígidas generalmente fabricadas de polipropileno o polietileno presentan rigideces flexurales mayores a 1000 gr-cm; y las geomallas flexibles (fibras de poliéster, poliamidas y fibras de vidrio ), presentan rigideces menores a 1000 gr-cm.

**Propiedades mecánicas.-** Tenemos las siguientes:

- ▶ Resistencia de la junta y costilla simple, es un ensayo índice que consiste en someter una costilla de la geomalla a una tensión mediante una maquina a una tasa constante de elongación. Si tenemos la resistencia de la costilla simple y la resistencia de la junta, podemos calcular una eficiencia, que puede variar entre 7 – 100%.
- ▶ Resistencia a la tensión de muestra ancha, se realiza sobre varias costillas, la resistencia resultante se da en valores de fuerza por unidad de ancho. Se aplican para este ensayo las normas ASTM D4595 y la ISO 10319, de los cuáles se obtiene la resistencia a la tensión de rotura (KN/m); la elongación a la rotura (%); la resistencia a la tensión a diferentes elongaciones, el módulo de tensión (KN/m). Los valores de resistencia a la tensión de las geomallas se ubica entre los de geotextiles convencionales y los geotextiles de alta resistencia.
- ▶ Resistencia al corte, es un ensayo de comportamiento que se obtiene adaptando el ensayo de corte directo aplicado a los suelos, de este ensayo se puede obtener los parámetros de resistencia al corte de geomalla con el suelo utilizado los parámetros:  $c_a$  (Adhesión del suelo a la geomalla) y  $\delta$  (Angulo de resistencia cortante suelo - geomalla), de donde se obtienen valores picos y valores residuales. Si estos parámetros lo relacionamos con los parámetros del suelo  $c$  (cohesión del suelos) y  $\Phi$  (Angulo de resistencia cortante del suelo), podemos

hallar las eficiencias  $E_c$  (Eficiencia de cohesión) y  $E_\phi$  (Eficiencia de fricción). Para una óptima transferencia de esfuerzos cortantes, es decir de las más altas eficiencias, se debe cumplir  $B_{GG} > 3.5 d_{50}$  ( $B_{GG}$  es abertura más pequeña de la geomalla y  $d_{50}$  es partícula promedio del suelo de relleno).

$$E_c = \frac{c_a}{c} \times 100$$

$$E_\phi = \frac{\tan \delta}{\tan \phi} \times 100$$

**Propiedades químicas.-** Tenemos las siguientes:

- ▶ Buena resistencia a la degradación por ataque de ciertas sustancias químicas, según la norma EPA 9090 inmersión de la muestra.
- ▶ Resistencia a la exposición de rayos UV, se recomienda no estar expuesto a más de 4500 horas a los rayos ultravioleta y climas agresivos, de acuerdo a la norma ASTM D4355.
- ▶ Las geomallas deben contar con tratamiento antioxidantes para estabilizarlos dentro del proceso de fabricación, para protegerlos durante la construcción y su vida efectiva, introduciendo la cantidad de carbón necesario para lograr atenuar dicho efecto. De acuerdo a los ensayos ASTM D4355 ó ASTM D5208.

## 1.3 Funcionamiento y Aplicaciones Generales.

### 1.3.1 Funcionamiento

La forma como las geomallas trabajan es por lo siguiente:

Las geogrillas tienen la estabilidad dimensional suficiente como para reforzar el material granular de relleno, a través de un confinamiento rígido del movimiento de las partículas, esto es la **trabazón del material granular que servirá de relleno.**

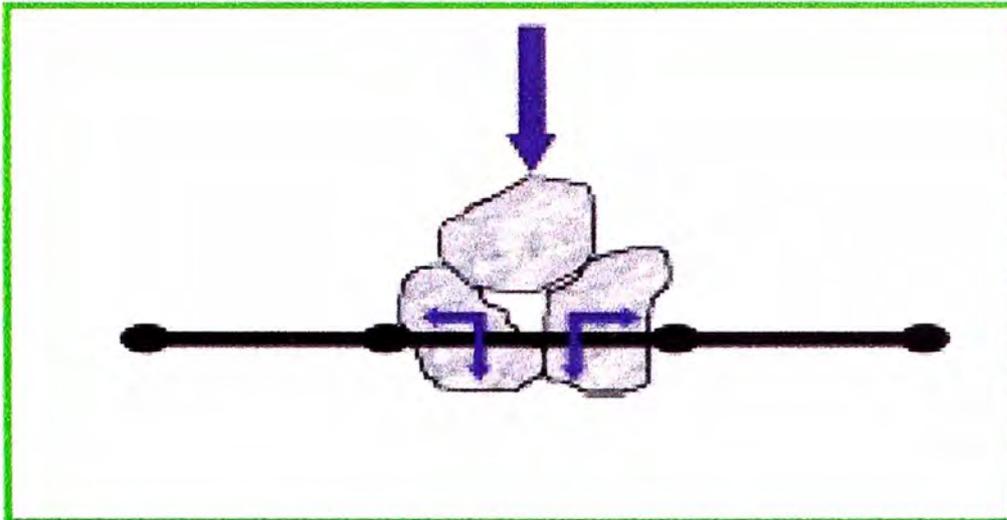


Figura N° 04.- Mecanismo de Trabazón del material granular con la geomalla, minimizando el desplazamiento lateral.

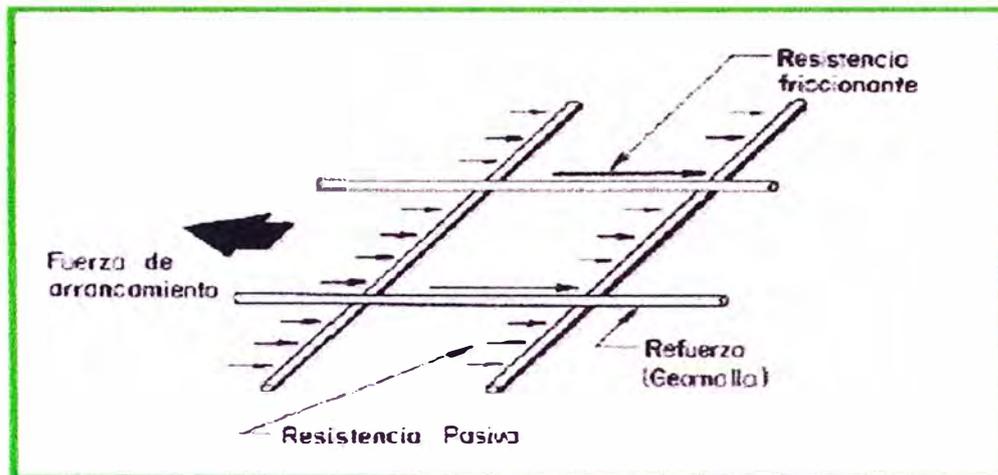


Figura N° 05.- Transferencia de esfuerzos por resistencia pasiva.

Conforme se va colocando el relleno, por encima de la geomalla, la influencia del refuerzo de está se extiende hacia arriba, a través del relleno, **distribuyendo efectivamente la carga impuesta** sobre un área suficiente como para prevenir la falla de la subrasante natural.

La geomalla distribuye la carga de manera similar a como lo hace un zapato de nieve para soportar el peso de un hombre, brindando una fundación compuesta estable para la construcción en suelos pobres.



Figura N° 06.- Zapato de nieve, distribuye la carga de un hombre en una mayor área,

Esta distribución de la carga sobre un área mayor lograda por la geomalla puede utilizarse de tres maneras:

- A. Para reducir el espesor de relleno necesario para lograr una determinada magnitud de carga sobre la subrasante (sobre todo en zonas donde es difícil conseguir material de afirmado).
- B. Para lograr cargas menores sobre la subrasante (manteniendo el espesor del relleno).
- C. Una combinación de las dos anteriores (Para reducir un poco el espesor de relleno y lograr cargas menores sobre la subrasante).

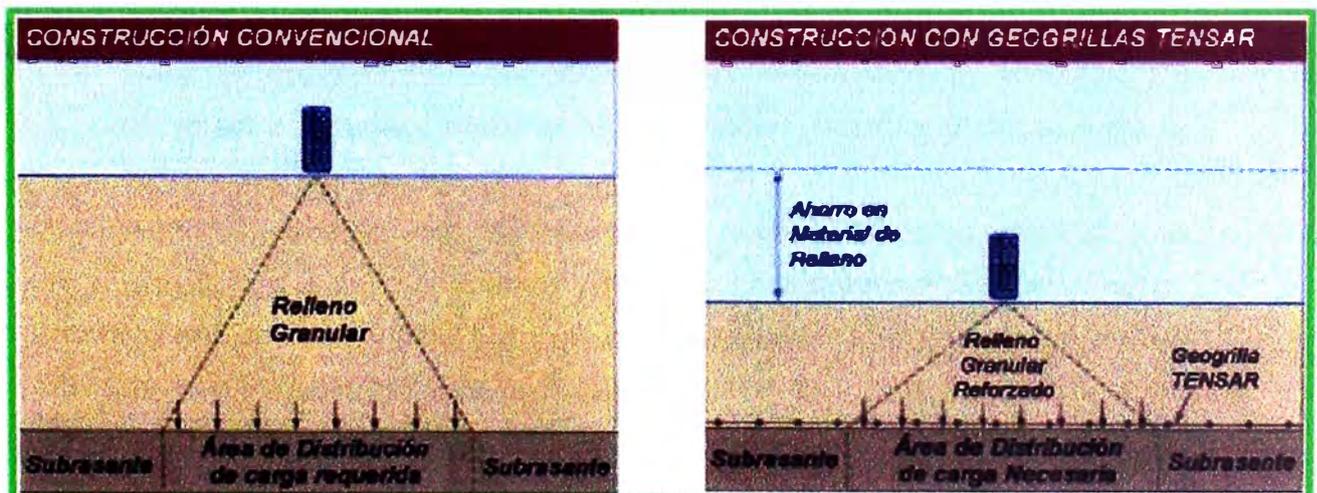


Figura N° 07.- Construcción convencional vs. Construcción con geomallas Tensar.

### 1.3.2 Aplicaciones Generales

En general cuando en la etapa de construcción nos encontramos con subrasantes blandas de poca resistencia, con tránsito de equipos pesados sobre el área de la vía a ser construida, colocación de capas estructurales gruesas del pavimento, costo elevado de material de relleno, subrasantes contaminadas, instalaciones de servicio público a poca profundidad, produciendo por ende que las programaciones de obra se alarguen y/o los presupuestos de obra se incrementen, sería en estos casos recomendables analizar la aplicación de las geomallas.

El sistema de geomallas se puede aplicar en las siguientes áreas:

- 🚧 Pavimentación de carreteras principales, secundarias (Pavimentos flexibles y rígidos).
- 🚧 Caminos sin Pavimentar.
- 🚧 Los balastos en la vía del tren.
- 🚧 Playas de estacionamiento para instalaciones comerciales e industriales.
- 🚧 Pistas de aterrizaje.
- 🚧 Centros y terminales de distribución de camiones de carga.
- 🚧 Plataformas de maniobra, depósito de maquinaria pesada en instalaciones portuarias, ferroviarias, industriales, etc.
- 🚧 Para la construcción de taludes reforzados con la finalidad de reconstituir o ganar plataformas de tráfico, bermas u otros; para la estabilidad de taludes altos y empinados.
- 🚧 Para la construcción de muros de suelo reforzado, siendo una alternativa a las soluciones rígidas y convencionales como muros de concreto, en obras como accesos a puentes, intercambios viales, vías expresas, estacionamientos; en aplicaciones residenciales, industriales y de transporte en general.

### 1.4 Aplicación de la Geomalla en Vías

La utilización de las geomallas en los pavimentos, se da por:

- ▶ Mejoramiento de la Subrasante
- ▶ Refuerzo en la capa base del pavimento
- ▶ Utilización simultanea de mejoramiento de subrasante y refuerzo de capa base.

**1.4.1 Mejoramiento de Subrasante.-** La existencia de una falla en la subrasante sobre la que está cimentado el pavimento llevará a un deterioro rápido de la estructura del mismo, y esto generalmente se presenta cuando la subrasante es de poca resistencia con  $CBR < 3\%$ . Lo que se hace es retirar todo este material hasta encontrar un suelo duro, y sustituirlo por un material de mejor calidad, otra alternativa es estabilizarlo químicamente; ambas opciones son costosas, la primera por que no se puede saber con exactitud el volumen a remover, la segunda por que hay que agregar materiales como la cal, cemento, u otras soluciones químicas que luego hay que batirlas, con mas gastos de equipo y consumo de tiempo lo que conllevará a mayores gastos para el proyecto. Otra opción a estos problemas es la aplicación de las geomallas, producto fácil de instalar.

El suelo de la subrasante puede fallar bajo carga de dos maneras: a través de una falla localizada por corte o por falla de capacidad portante profunda. La falla localizada por corte o punzonamiento, ocurre generalmente con la forma de una deformación en terrenos blandos saturados cuando la carga excede a la resistencia al corte de la subrasante. La subrasante por debajo del relleno sin reforzar fallará por punzonamiento cuando, el nivel de tensión llegue alrededor de la mitad de la capacidad portante última del suelo. Las geomallas previenen este tipo de falla.

El efecto que produce la colocación de las geogrids, es la de reforzar el relleno granular mediante el confinamiento de las partículas, rigidizando la capa de base, permitiendo una mejor distribución de carga y minimizando que el material se desplace hacia los costados, evitando formar surcos en la superficie del pavimento. 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 pobres.

Existe ocasiones donde será necesario la utilización de geotextiles, en forma conjunta con la geomalla, esto es cuando el material de relleno no esté bien graduado y presenta diferencias importantes con la del material natural de la subrasante, en tales casos el geotextil actuará como separador y evitará la filtración del material fino de la subrasante entre las partículas del relleno.

Por el contrario, si se selecciona un material de relleno bien graduado, de manera tal que éste actúe como filtro, el poder de separación de las geomallas será suficiente, y la colocación del geotextil será innecesaria. Para que esto ocurra el material de relleno deberá cumplir con los siguientes requisitos:

✚ Para suelo natural normal:

$$(D_{15} \text{ Relleno}) / (D_{85} \text{ Subrasante}) < 5$$

✚ Para suelo natural con arcilla plástica:

$$(D_{15} \text{ Relleno}) / (D_{85} \text{ Subrasante}) < 10$$

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

$$(D_{50} \text{ Relleno}) / (D_{50} \text{ Subrasante}) < 25$$

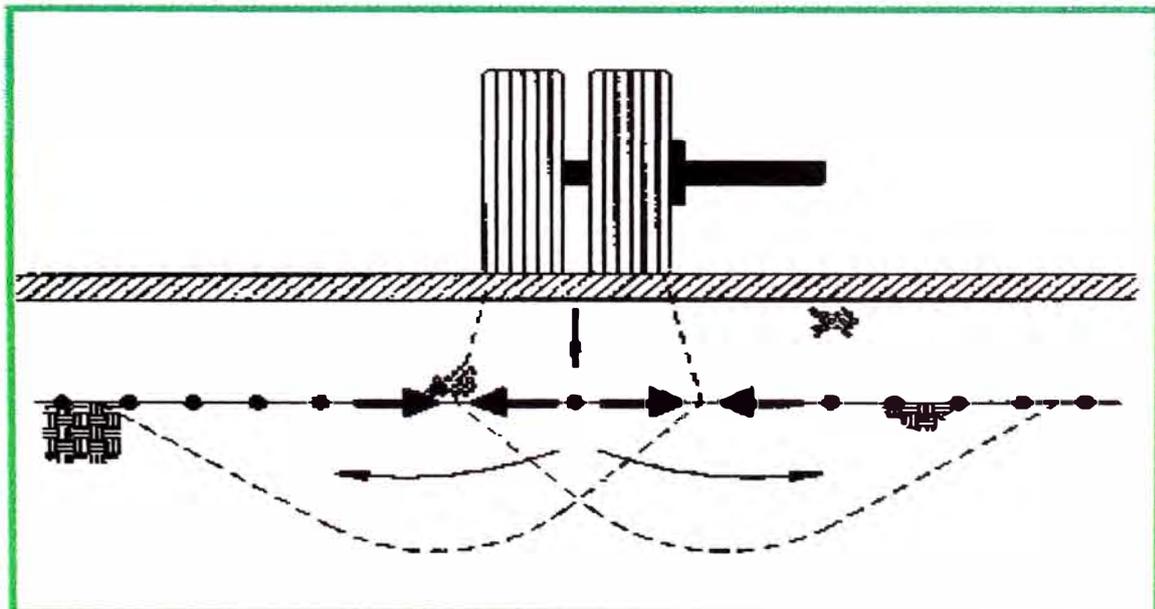


Figura N° 08.- Mecanismo mediante el cual la geomalla otorga esfuerzos de tensión, al aplicar esfuerzos verticales.

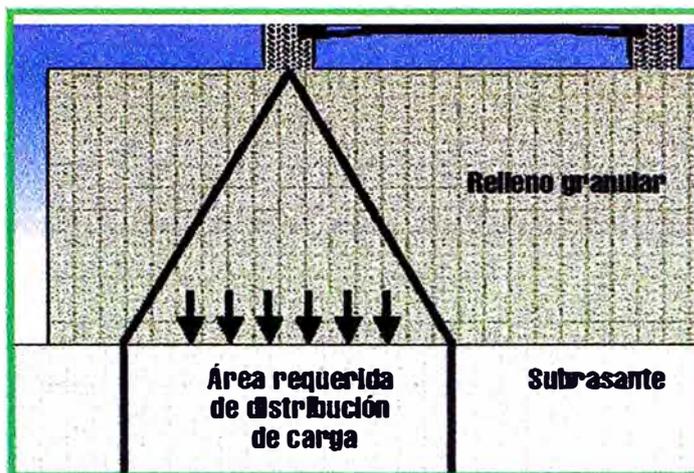


Figura N° 09.- Construcción convencional.

Podemos aplicar cuando se presenta los siguientes casos:

- Para el mejoramiento de subrasantes pobres o débiles en vías no pavimentadas, mediante el mecanismo de distribución de carga, disminuyendo o eliminando la sobre-excavación y el relleno con materiales selectos, los mismos que resultan especialmente costosos cuando se tiene grandes distancias de canteras y procesos constructivos dificultosos cuando se construye en época lluviosa.

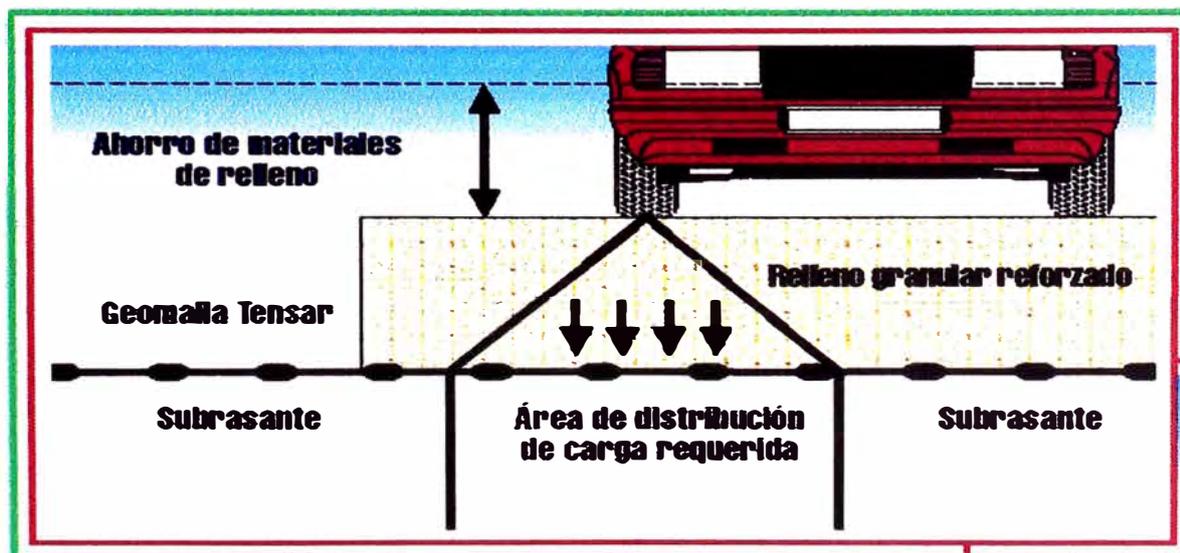


Figura N° 10.- Construcción con geomalla, donde se nota el ahorro de material.

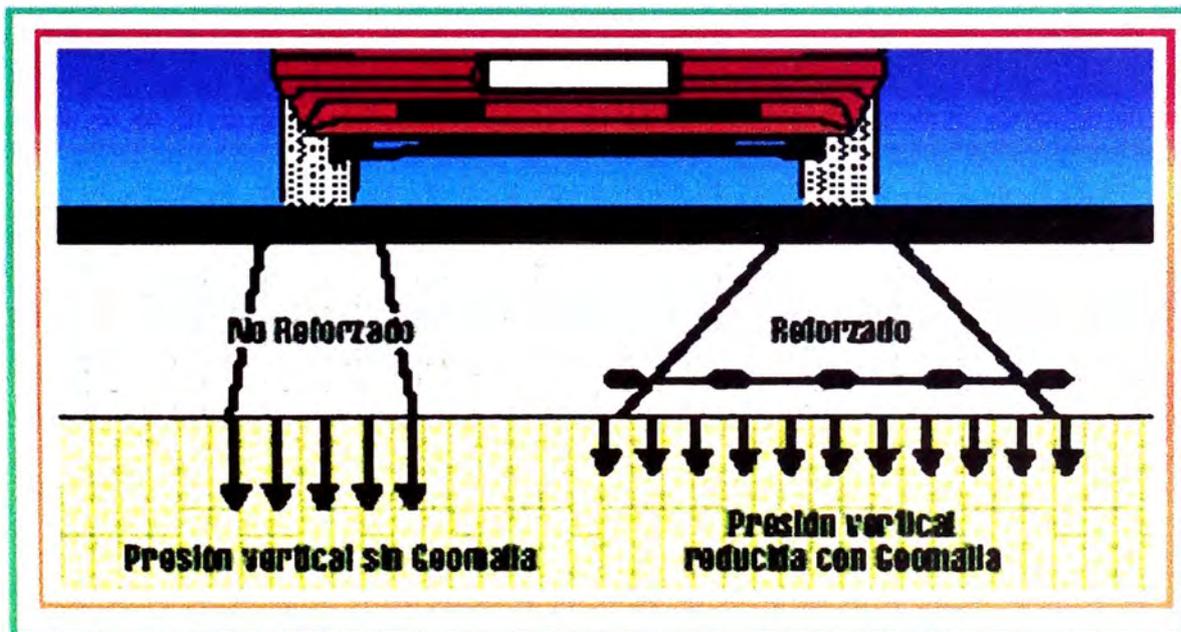
- Para constituir una plataforma de construcción para zonas de acceso difícil por las condiciones de suelos blandos y saturados que se

presentan en pantanos, bofedales, aguajales, relaves y materiales de relleno inestables, tanto en zonas de accesos y la misma vía de ejecución.

**1.4.2 Refuerzo de Capa Base.-** La capa base puede fallar por que el material de relleno se mueve lateralmente. Esto da como resultado la formación de surcos y, eventualmente, el resquebrajamiento de la superficie de asfalto.

La colocación de geomallas modifica el comportamiento bajo carga de la capa base. Una capa base reforzada resiste el desplazamiento lateral de la capa de relleno, mejorando el rendimiento estructural de la capa base. Con esto podemos diseñar espesores de capa base más reducida con un rendimiento o performance superior que las diseñadas con espesor convencional.

El diseño por refuerzo de capa se recomienda cuando el CBR de la subrasante es mayor a 3%, no podemos hablar de un rango superior, ya que esto dependerá que se realice un análisis beneficio-costos, comparándola con el diseño tradicional.



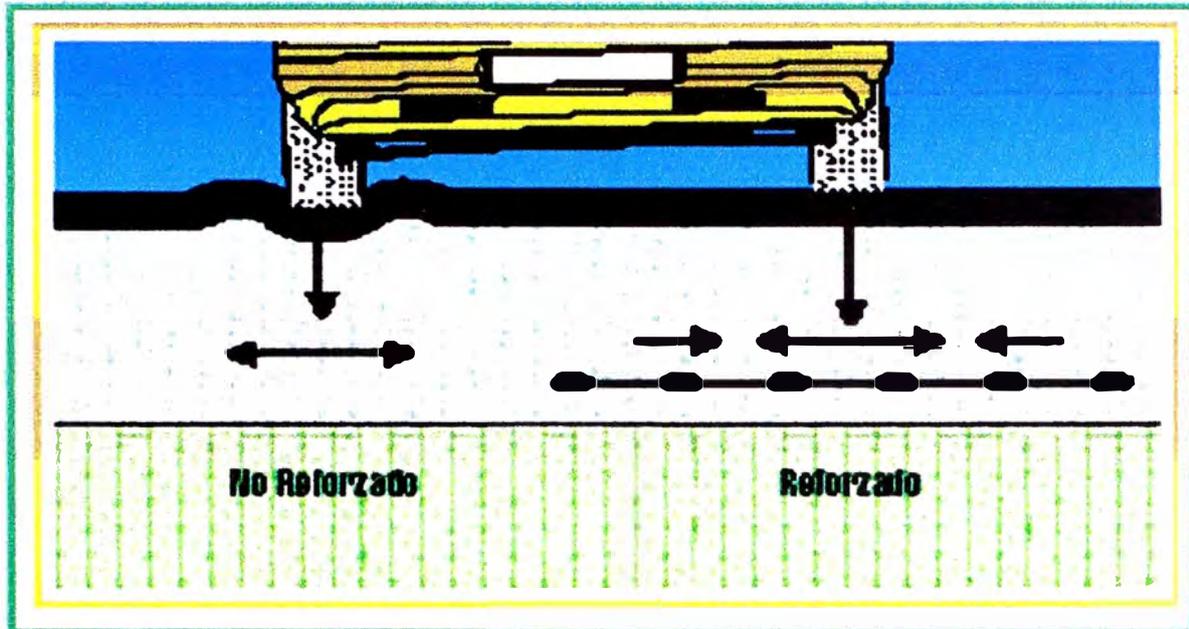


Figura N° 11.- Mecanismo de refuerzo de las geomallas, en la capa base.

Podemos aplicar en los siguientes casos:

- ▶ Para el refuerzo de bases granulares de vías pavimentadas y no pavimentadas, cuando se quiera reducir los espesores de las capas granulares, mediante los mecanismos de trabazón y confinamiento.
- ▶ Para aumentar la durabilidad de las vías construidas con este sistema, ya que la geomalla y el relleno actúan conjuntamente, creando así una estructura compuesta mucho más resistente, se tiene un incremento de la rigidez inicial, decrecimiento de la deformación horizontal a largo plazo, reducción del fisuramiento, mejoramiento del comportamiento a la fatiga cíclica, el mantenimiento del sistema unido, por lo que podemos inducir que será más duradero
- ▶ Las geomallas proveen resistencia a la tensión, la que combinada con la resistencia del suelo a la compresión resultan en una estructura global similar al concreto armado.

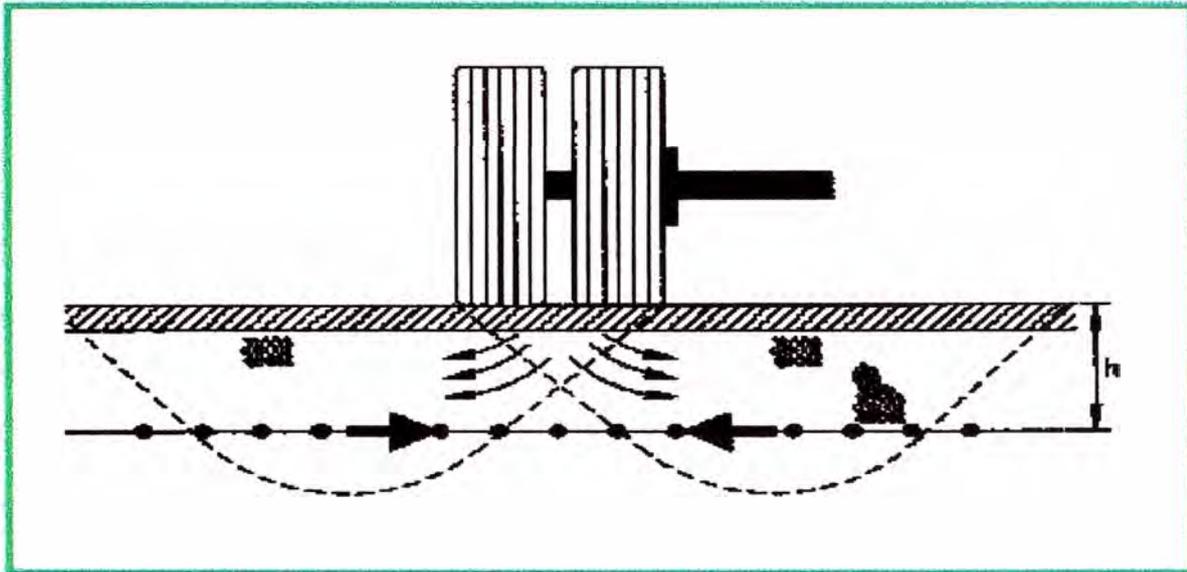


Figura N° 12.- Refuerzo con geomallas, evitando el desplazamiento lateral de la capa base.

Cuando vamos a diseñar para reforzar la capa base con las geomallas dentro de un pavimento, básicamente tenemos 3 opciones, y esto a su vez va a generar en el pavimento una mejora de la confiabilidad.

- ✚ La extensión de la vida útil de la estructura del pavimento.
- ✚ La reducción del espesor de la capa de base para una vida útil equivalente al pavimento no reforzado.
- ✚ Una combinación de las 2 primeras opciones.

**1.4.3 Utilización simultánea de mejoramiento de subrasante y refuerzo de capa base.-** En algunos casos donde tengamos subrasantes muy pobres, donde el material de relleno, material de base sea difícil de encontrar o se tenga canteras muy alejadas a nuestro proyecto, por lo consiguiente elevados costos de transporte y de material, como podría ser algunas zonas de nuestra selva, podemos aplicar la geomalla simultáneamente como mejoramiento de la subrasante y refuerzo de la capa base.

## CAPÍTULO 2

### METODOLOGÍAS DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS

Las metodologías a usarse en el diseño de pavimentos, es la metodología AASHTO 93, en la cual se introduce el parámetro TBR (Traffic Benefit Ratio) que es el Factor de Mejoramiento de Tráfico, que viene a ser el aporte de la geomalla en la estructura del pavimento. Por lo que a continuación se desarrollará la metodología AASHTO 93.

#### **2.1. Metodología AASHTO 93 para diseño de pavimentos.**

Las consideraciones principales usadas en la presenta guía de diseño AASHTO, para poder calcular la estructura del pavimento son:

1. Confiabilidad.
2. Modulo Resiliente del suelo de soporte: AASHTO T-274.
3. Modulo Resiliente para pavimentos flexibles. Coeficientes de capa de pavimentos.
4. Drenaje: Sistema de drenaje superficial y mejoramiento de factores que indican mal drenaje en la formula.
5. Mejoramiento de condiciones ambientales, heladas, expansiones, deslizamientos.
6. Pavimentos rígidos para bermas, líneas anchas.
7. Erosión de sub-base para pavimentos rígidos.
8. Consideración para el corte de ciclo de vida.
9. Rehabilitación
10. Manejo de Pavimentos.
11. Extensión de valores de equivalencia de carga.
12. Mejoramiento de los datos de tráfico.
13. Diseño de pavimento para camino de bajo volumen de tránsito.
14. Estado del movimiento en conceptos de diseño mecanístico – empírico.

El diseño de pavimentos envuelve no solo una definición de espesores de pavimentos y capas; sino tiene que ver además con:

El material requerido – con sus características.

- ▶ Requerimiento de construcción – con el procedimiento a seguir.
- ▶ Control de Calidad – en los momentos y con los elementos que se usan.

Los cuales pueden influenciar significativamente en la totalidad de la estructura de pavimento para que cumpla la performance prevista en el diseño.

### **Consideraciones de Diseño:**

- ▶ Performance de Pavimento.
- ▶ Tráfico.
- ▶ Suelo de cimentación o suelo base.
- ▶ Materiales de construcción.
- ▶ Condición Ambiental.
- ▶ Drenaje.
- ▶ Confiabilidad.
- ▶ Diseño de berma.

### **Ecuación de Diseño para Pavimentos Flexibles:**

La ecuación siguiente ha sido desarrollada para calcular la estructura del pavimento, en la cual se van ingresando los parámetros y/o características del suelo, de serviciabilidad, comodidad, etc. Se ha desarrollado monogramas que facilitan en forma rápida la obtención del SN (Número Estructural).

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \log_{10} \left( \frac{\Delta PSI}{(4.2-1.5)} \right) / (0.40 + 1094 / ((SN+1)^{5.19})) \\ + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07$$

La ecuación para pavimentos flexibles usa los siguientes factores:

SN = Numero Estructural.

$W_{18} \approx EAL = \#$  de ejes simples aplicados en cargas equivalentes a 18 kip (8.2Tn).

$Z_R$  = Desviación estándar normal.

$S_0$  = Error Estándar Combinado (Predicción de tráfico, Predicción de Performance).

$\Delta PSI$  = Diferencia entre índice de serviciabilidad de inicio, con serviciabilidad de término. Perdida de serviciabilidad.

$M_R$  = Módulo resiliente (Psi).

Con lo cual se obtiene el SN (Número Estructural) indicativo del espesor total requerido del pavimento, el cuál a su vez se descompone en 03 capas como se indican.

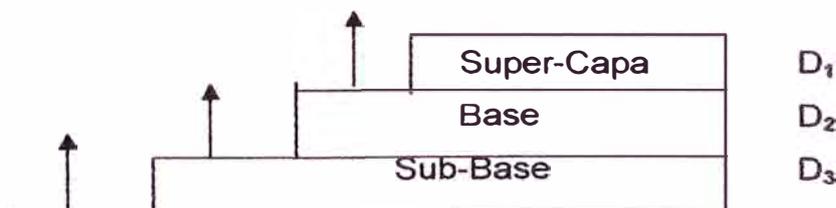
$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

$a_i$  = coeficiente de capa (Basados en los Módulos de resiliencia)

$D_i$  = Espesor de capa

$m_i$  = Coeficiente de drenaje de capas.

Es así que del primer SN obtenido por ecuaciones, obtenemos la primera aproximación.



$$D^*_1 \geq SN_1 / a_1$$

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

$$D^*_2 \geq (SN_2 - SN^*_1) / (a_2 \times m_2)$$

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

$$D^*_3 \geq (SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)) / (a_3 \times m_3)$$

## **Serviciabilidad del Pavimento:**

Se expresa por el índice de serviciabilidad PSI, esto representa la habilidad para servir al típico de tráfico que usa la vía

PSI: Se obtiene de las medidas de rugosidad y grietas, ondulaciones en un tiempo determinado de la vida del servicio del pavimento.

Rugosidad es el factor dominante en la estimación del PSI.

Rango Psi < 0 ; 5>

Para el diseño se selecciona los valores iniciales y Terminal

PSI = $P_i$  = 4.2 (Road Test) Pavimentos flexibles

PSI = $P_i$  = 4.5 Pavimentos rígidos.

El índice de serviciabilidad Terminal es el mínimo aceptado antes del recapeado ó reconstrucción.

Se sugiere un índice Terminal de:

PSI = 2.5 – 3.0 (Para diseños de vías mayores)

PSI = 2.0 (Para diseños de vías menores)

PSI = 1.5 (Para diseños de vías de muy bajo tránsito).

Factores que influyen en la pérdida de serviciabilidad.

- ▶ Tráfico
- ▶ Edad de vía
- ▶ Condiciones Ambientales

### **Tráfico:**

La información de tráfico requerido incluye:

- ▶ Ejes de Carga
- ▶ Configuración de ejes
- ▶ Número de aplicaciones o repeticiones.

El efecto de daño por paso de un eje cargado puede representarse por un # de eje de carga de 18 kips (8.2 Ton), por eje simple denominado ESAL.

### **Confiabilidad:**

Es una medida para introducir cierto grado de certeza en el procedimiento de diseño, para asegurar que las diferentes alternativas de diseño durarán todo el período de análisis.

A menos nivel de comodidad (reliability), el número estructural disminuye, esto quiere decir que se realizará más veces el número de rehabilitaciones.

### **CBR de la Subrasante:**

Es una medida de la capacidad de soporte de la subrasante.

CBR y R → MR

### **Módulo Resiliente (Mr):**

Ha sido considerado como una medida de la calidad de los materiales.

MR (psi) = 1500xCBR para CBR ≤ 7.2%

Conociendo estos parámetros de diseño se procede a calcular el SN, en la ecuación para el cálculo de pavimentos flexibles.

Tabla N° 01.- Diseño de pavimentos flexibles, método AASHTO 1993.

FECHA 29/03/07								
TIPO DE TRANSITO T2								
<b>DISEÑO DE PAVIMENTOS METODO AASHTO 1,993</b>								
( PAVIMENTOS FLEXIBLES )								
TRANSITO Ns,2	R ( % )	ZR	So	MR	Po	Pt	Δ PSI	SN
1.1504E+05	75	-0.674	0.450	500	4.2	2.0	2.2	5.425
> 1.15E+05 :: OK!								
LEYENDA :								
CAPA	ESPESOR DI ( cm. )	COEFICIENTE ESTRUCTURAL ai/cm	COEFICIENTE de DRENAJE mi	NUMERO ESTRUCTURAL	n	Período de diseñ = 10 AÑOS		
BG	50.0	0.051	1.000	2.559	R	Nivel de Seguridad para Vías Colectoras		
SBG	91.0	0.031	1.000	2.866	ZR	Desviación Estandar Normal		
					So	Desviación Estandar para Pavimentos Flexibles		
					MR	Módulo de Resistencia del Material de Fundación		
					Po	Serviciabilidad inicial		
					Pt	Serviciabilidad final		
					Δ PSI	Variación Total del Índice de Serviciabilidad		
					SN	Número Estructural		
					Ns,2	Aplicaciones de Ejes Simples de Carga Equivalen		
Total	141			5.425				

## 2.2. Método ASSHTO para diseño de pavimentos flexibles reforzado con geomallas.

Existen básicamente 3 opciones de diseño al incorporar una geomalla como refuerzo de base granular dentro de un pavimento flexible:

- 1.- La extensión de la vida útil de la estructura del pavimento.
- 2.- La reducción del espesor de la capa de base para una vida útil equivalente al pavimento no reforzado.
- 3.- Una combinación de las 2 primeras opciones.

La opción 1 es desarrollada por diseñadores que usan sistemas de gerenciamiento de pavimentos y evalúan la construcción sobre la base de costos de ciclos de vida útil.

La opción 2 está dirigida a minimizar los costos iniciales de la construcción (los costos de ciclos de vida útil no son específicamente tomados en cuenta).

La opción 3 es una combinación de las 2 primeras. Con esta opción el costo inicial es prácticamente igual al diseño convencional no reforzado. Se usa una ligera reducción en el espesor de la capa de base para compensar la inclusión de la geomalla estructural y se obtiene una extensión en el tiempo de vida útil del pavimento. Dicha extensión sería menor que la obtenida con la opción 1.

Para cualquiera de los 3 diseños se empleó el procedimiento AASHTO 1993 extendida para incluir opciones de refuerzo de capas de base con geomallas estructurales rígidas. Dicha extensión está basada en un número importante de ensayos de laboratorio, ensayos a escala natural y más de 15 años de aplicaciones exitosas obtenidas con un tipo específico de geomallas.

Se asume que la mayoría de diseñadores tienen una sección transversal típica del pavimento definido con anterioridad a la evaluación de los beneficios potenciales obtenidos al incorporar una geomalla estructural dentro de su diseño. También se asume que la sección típica está basada en la experiencia y como resultado de los parámetros de diseño especificado.

Investigaciones realizadas en muchas instituciones y universidades (Ensayos de Tráfico a escala real en 1990 por Specifier's Guide, también por Webster, Army Corps of Engineers en enero de 1996, Universidad de Waterloo en 1984, Universidad de Nottingham, Georgia institute of Thecnology), dan a conocer el beneficio de la aplicación de la geomalla dentro de la estructura del pavimento, esto está representado por el parámetro TBR (Traffic Benefit Ratio) Factor de Mejoramiento de Tráfico.

Para diseñar los espesores del pavimento considerando el aporte de la geomalla se aplica la metodología AASHTO 93, donde se introdujo el parámetro TBR que permite incrementar el número de pasadas de EE de 18 Kips en la cantidad que según el programa de diseño SPECTRA y los proveedores es de 3, sin embargo de acuerdo a los ensayos del U.S. Army of Engineers es de 2.7, para la malla utilizada en el experimento BX1100.

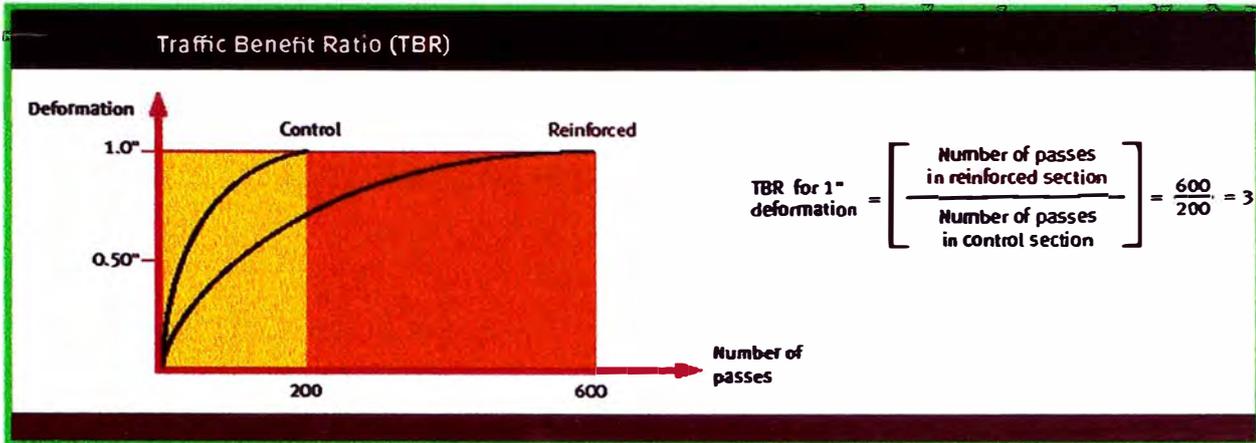


Figura N° 13.- Ensayos para obtener el valor de TBR (Traffic Benefit Ratio).

Para tener un mayor nivel de comodidad y seguridad el valor de TBR, que se utilizará es de 2.7.

El proveedor de la geomallas TENSAR, proporciona el programa SPECTRA PAVE, el cual permite realizar múltiples diseños y entregamos resultados con los cuales el diseñador realiza un análisis Beneficio - Costo.

**Table 1 - Proposed Pavement Section**

Layer	Thickness (inch)	ai	mi	SN
ACC1	3.0	0.42	N/A	1.26
ABC	8.0	0.14	1.0	1.12
SBC	10.0	0.08	1.0	0.80
<b>Overall Structural Number (SN)</b>				<b>3.18</b>

Thickness (inch)

11 in

**Table 3 - Allowable Trafficking**

	Allowable Traffic (ESAL's)	Cost (\$/SY)	Comparative Cost (\$/SY/1000 ESALs)
Unreinforced	42,000	28.72	0.684
BX1100	126,000	30.97	0.246
BX1200	252,000	31.97	0.127

The allowable trafficking for a specific pavement section is the minimum value calculated using the Overall Structural Number approach (Table 2a) and the Layered Analysis (Table 2b). A Layered Analysis ensures that individual layers within the pavement remain intact during its design life; full details are presented in Section 3.1.5, Part II of AASHTO (1993).

**Table 2a - Calculated Trafficking Based on Overall Structural Number Analysis**

Allowable Traffic Load (ESAL's)	Unreinforced	Reinforced	
		BX1100	BX1200
	172,000	516,000	1,032,000

**Table 2b - Calculated Trafficking Based on Layered Analysis**

Layer	Underlying Layer		SN Overlying Layers	Allowable Traffic (ESAL's)		
	Name	Modulus (psi)		Unreinforced	BX1100	BX1200
ACC1	ABC	30,000	1.26	42,000	126,000	252,000
ABC	SBC	11,000	2.38	163,000	489,000	978,000

SpectraPave® Software for Subgrade Improvement and Base Course Reinforcement, Version 2.17, August 2006  
Copyright 1994 - 2006, Tensar Earth Technologies, Inc., 1-800-TENSAR-1, www.tensarcorp.com

Live  
Findata

Figura N° 14.- Programa Spectra Pave, para calcular el aporte de la geomalla.

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO DEL PAVIMENTO EXPERIMENTAL CON APLICACIÓN DE GEOMALLAS ENTRE SUB-BASE Y BASE

#### 3.1 Parámetros de Entrada.

##### Tráfico:

El tramo experimental, no estará sometido a tráfico de vehículos, pero se condicionó para efectos de análisis tomar el tráfico T2 (Manual de Bajo Volumen de Tráfico), cuyo valor extremo ESAL (Equivalent Simple Axial Load) es  $1.5 \times 10^5$  EE (Ejes Equivalentes), y de acuerdo al Manual sólo tienen interés para el diseño el tránsito de vehículos pesados (buses y camiones), considerando como tales aquellos cuyo peso bruto excede de 5 toneladas por eje. El resto de vehículos menores provocan un efecto mínimo sobre el pavimento.

Considerando que las llantas deben tener una presión máxima de inflado de 80 psi/pul<sup>2</sup>.

<b>Tipo T2</b>
$7.9 \times 10^4 - 1.5 \times 10^5$

##### El Período de diseño:

El período de diseño considerado es de 10 años, de acuerdo al Manual del MTC, para carreteras de bajo volumen de tráfico.

#### 3.2 Cálculo del diseño convencional de pavimentos, a nivel de afirmado.

##### Cálculo Estructural de la Superficie de Rodadura

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de mejoramiento, subbase, base (afirmado), se adoptó como representativa la siguiente

ecuación empírica del método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities predecessor of Austroads), que relaciona el valor de soporte del suelo CBR y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes:

$$e = [ 219 - 211*(\log_{10}CBR) + 58*( \log_{10}CBR)* \log_{10}(Nrep/120) ] \dots(Ec. 01)$$

Donde:

e = espesor de la capa de afirmado en mm

CBR = valor de CBR de la subrasante

Nrep = número de repeticiones de EE para el carril de diseño

La ecuación del método NAASRA en forma gráfica se muestra en la figura Nº 14, donde para distintos rangos de CBR y Nº de repeticiones de EE de 8.2 Tn (Tráfico), se obtiene el espesor global de la estructura del afirmado.

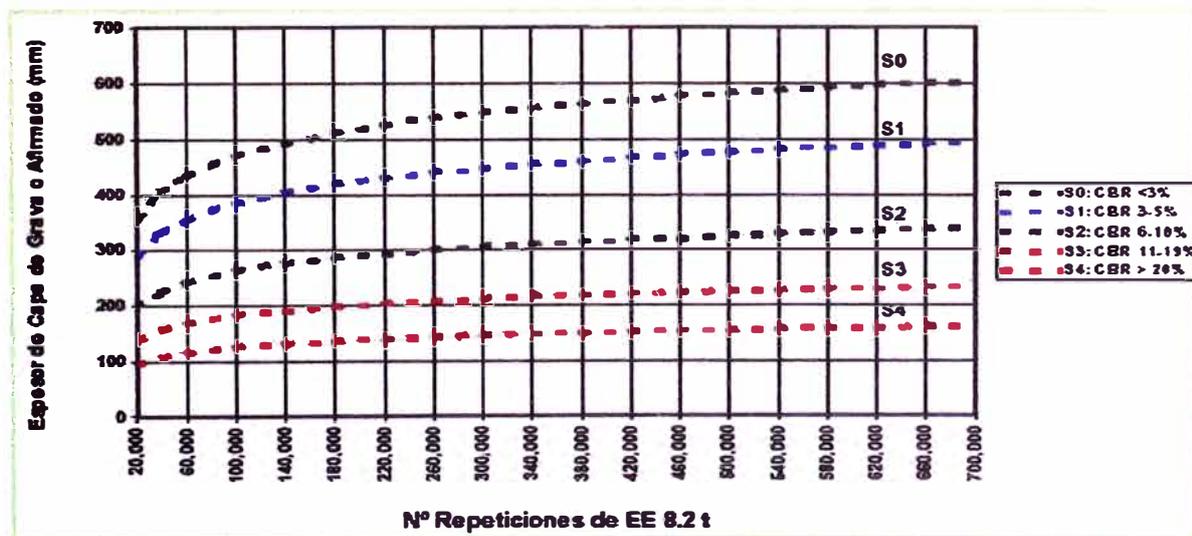


Figura Nº 15.- Determinación de Espesor de Capa de Revestimiento Granular.

De acuerdo al Manual de Diseño para Bajos volúmenes de Tránsito, los espesores a considerar para Subrasantes Muy Pobres con CBR < 3% se presenta en el siguiente gráfico.

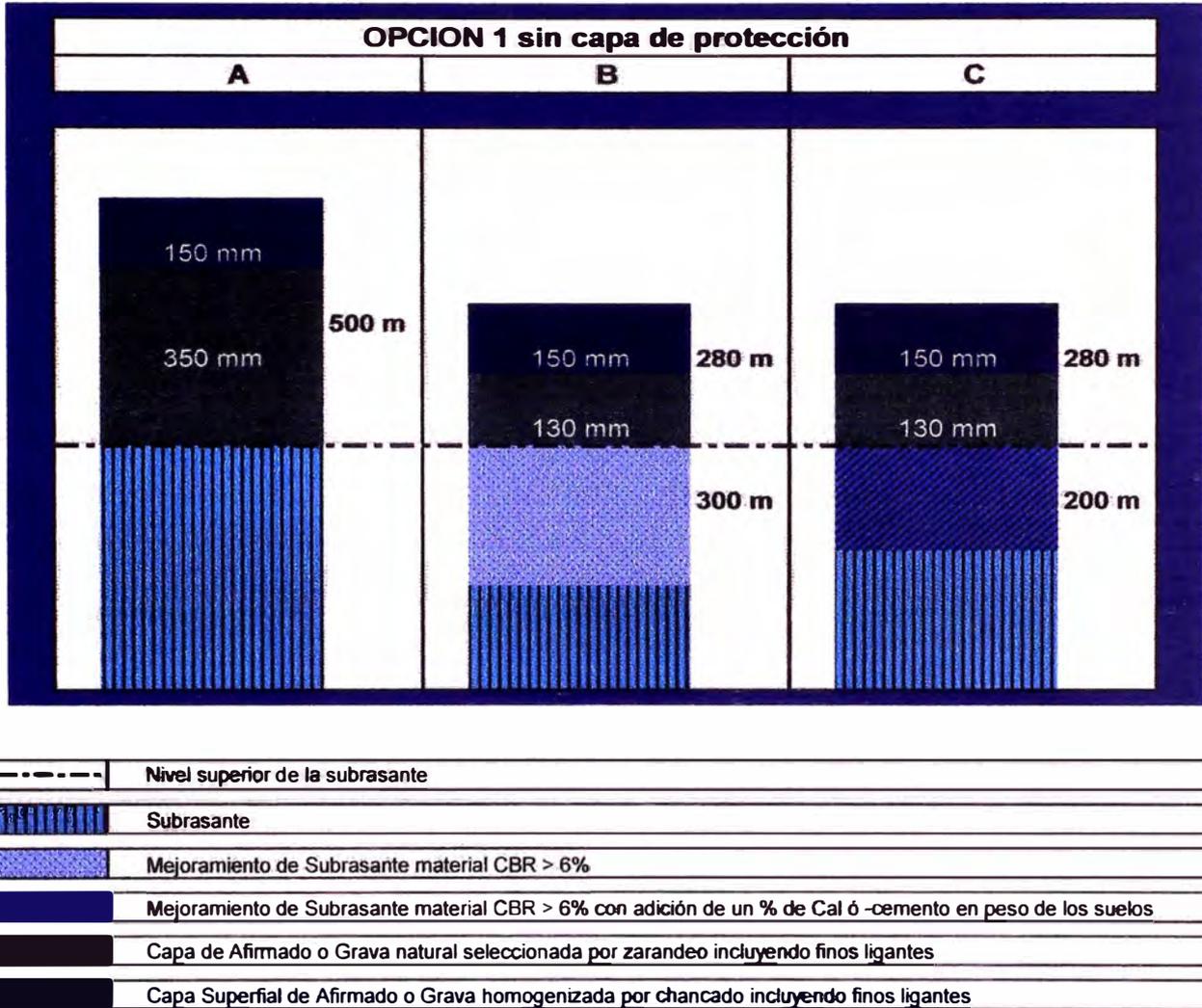


Figura N° 16.- Catálogo gráfico del Manual de Diseño.

► Base = 15 cm

► Sub – Base = 35 cm

**Total = 50 cm**

+ Base = 15 cm

+ Sub – Base = 13 cm

+ Mate. Reemplazo = 30 cm

**Total = 58 cm**

Si consideramos la ecuación empírica de NAASRA, (con el que se ha obtenido el gráfico anterior) los Cálculos se presentan a continuación.

Parámetros a Considerar:

- ▶ CBR de la subrasante = 0.5%
- ▶ ESAL  $1.5 \times 10^5$
- ▶ Se considerara que los últimos 0.15 mts, se va ha colocar base, que debe ser material chancado incluyendo finos ligantes.

CBR	N# EE
0.5	150000

Espesor (mm)	891.21
Espesor a Considerar (cm)	90

Valores que se obtiene reemplazando los valores de CBR, y N° EE, solicitadas en la ecuación (Ec. 01).

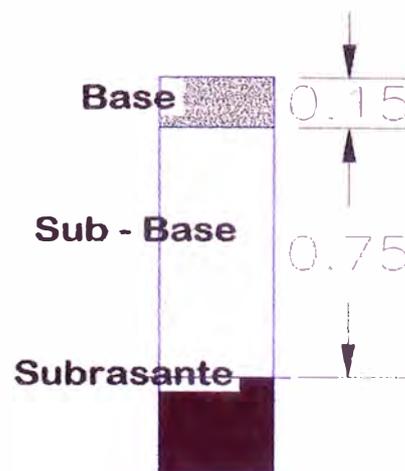
También se ha considerado otros valores de CBR, conservando el mismo Numero ESAL.

Tabla N° 02.- Variación de espesores, de acuerdo a CBR de subrasante.

CBR	N# EE	Espesor Afirmado (cm)
0.3	150000	107
0.5	150000	90
0.7	150000	79
0.9	150000	71
1.0	150000	68
1.5	150000	57
2.0	150000	50
2.5	150000	45
3.0	150000	41

- ▶ Espesor de Base = 15 cm
- ▶ Espesor de Sub – Base = 75 cm

**Total = 90 cm**



**3.3 Cálculo del diseño del pavimento experimental con aplicación de geomallas entre la base y la sub-base.**

**a) Diseño de la Base, con CBR = 20% de la subrasante.**

Considerando el diseño de mejoramiento de la subrasante, aplicando las formulas de Giroud-Han, se ha obtenido un relleno de 50 cms de espesor por encima del nivel de la geomalla, el CBR que se obtiene de todo este conjunto es de CBR= 20%, con lo cual se diseñará el espesor de la capa base.

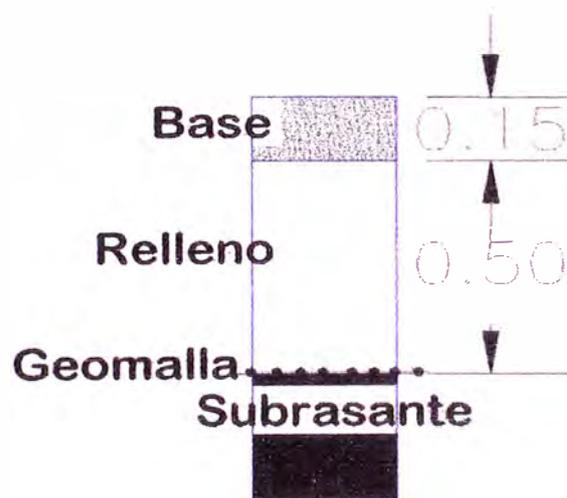
CBR	N# EE
20	150000

Esesor (mm)	132.11
Esesor a Considerar (cm)	15

**Esesor de relleno = 50 cm**

► **Esesor de Base = 15 cm**

**Total = 65 cm**



**b) Diseño de la Base, con CBR = 6% de la subrasante.**

Se va a considerar que el mejoramiento de la subrasante, aplicando las formulas de Giroud-Han, con un material de CBR > 8% se ha obtenido un relleno de 50 cms de espesor por encima del nivel de la geomalla, el CBR

que se obtendría de todo este conjunto es de CBR= 6%, con lo cual se diseñara el espesor de la capa base.

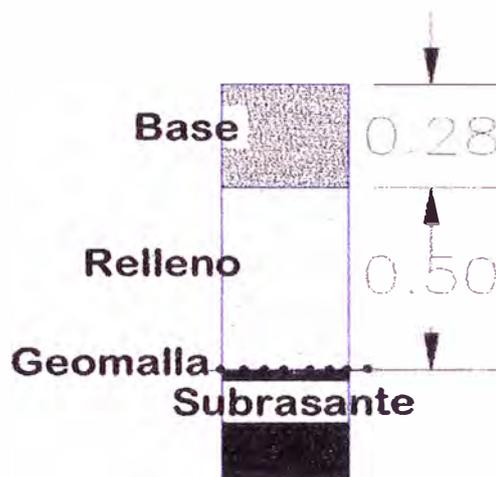
CBR	N# EE
6	150000

Espesor (mm)	278.51
Espesor a Considerar (cm)	28

► **Espesor de mejoramiento = 50 cm**

► **Espesor de Base = 28 cm**

**T<sub>total</sub> = 78 cm**



**c) Diseño de la Base, con CBR = 6% de la subrasante y aplicando geomalla BX1100.**

Para diseñar los espesores del pavimento considerando el aporte de la geomalla se aplica la metodología AASHTO 93 para pavimentos, donde se introducía el parámetro TBR (Traffic Benefit Ratio), que permite incrementar el número de pasadas de EE de 18 Kips en la cantidad indicada, que según el programa de diseño SPECTRA y los proveedores es de 3 y de acuerdo a los ensayos del U.S. Army of Engineers es de 2.7, para la malla utilizada en el experimento BX1100.

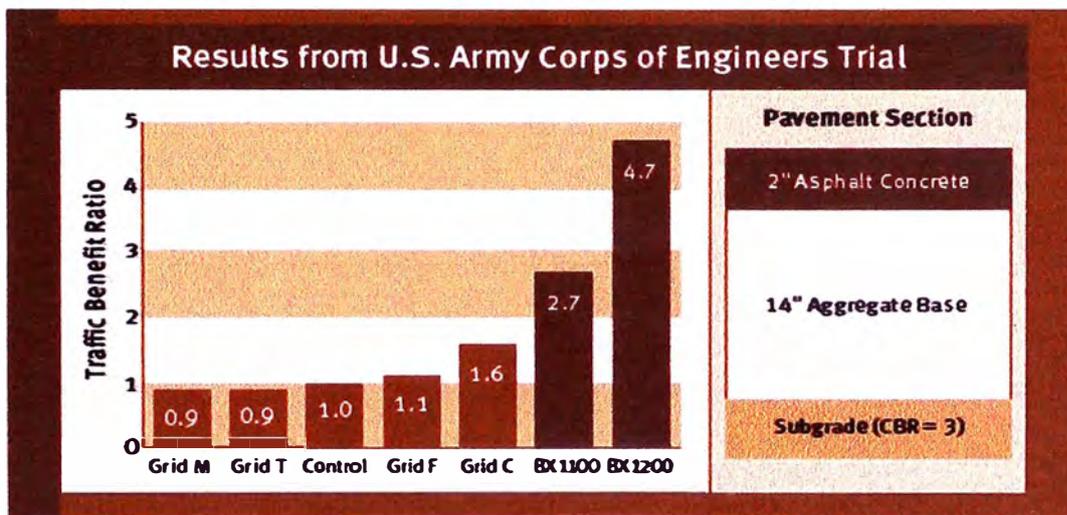
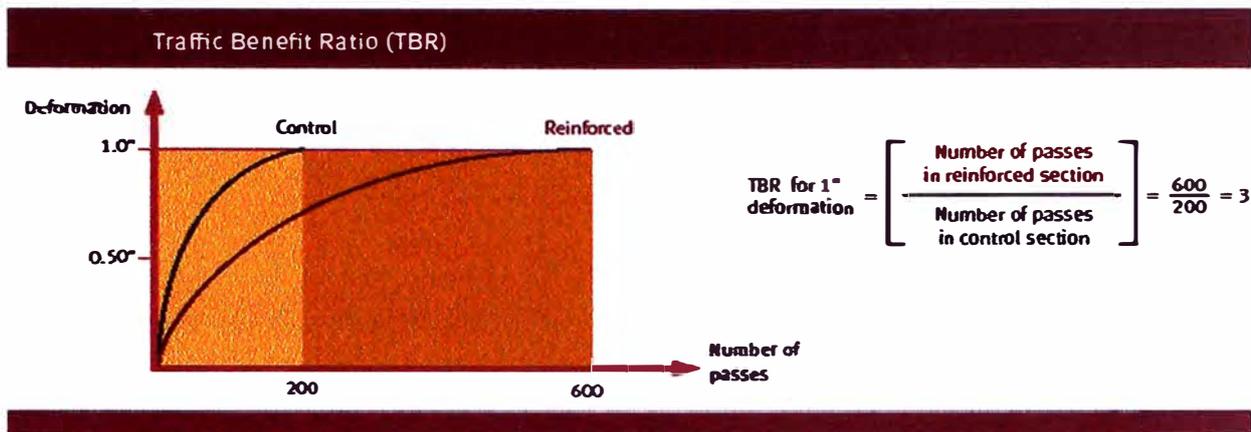


Figura N° 17.- Valores de TBR, según el U.S. Army Corps of Engineers.

Considerando que el CBR del conjunto es de 6%, el TBR = 2.7 y el ESAL requerido es de 150000 de EE, por lo cual, considerando el aporte que brinda la geomalla donada BX1100, la nueva solicitud de EE sería =  $150000 \times 2.7 = 405000$  EE.

Ahora realizaremos un análisis contrario al anterior, con lo cual considerando el aporte de la geomalla, debemos llegar a los 150000 EE, es decir hallar el EE, que multiplicado por 2.7, de 150000 EE.

$$150000 / 2.7 = 55556 \text{ EE.}$$

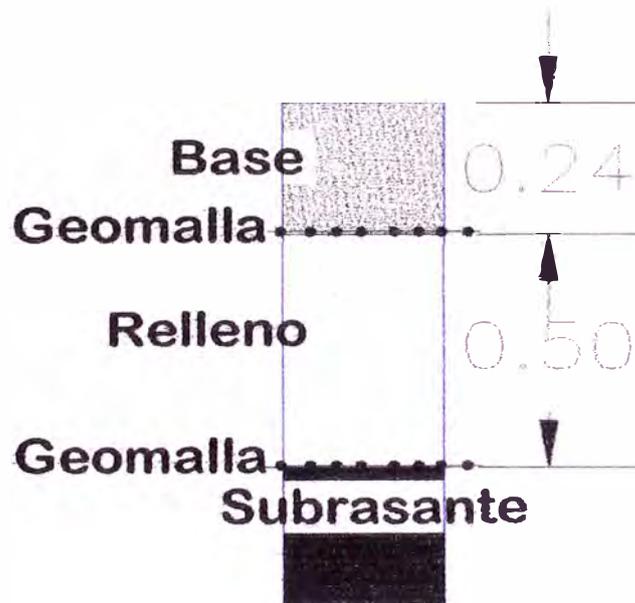
Para este nuevo valor de EE, el diseño es el siguiente:

TBR	CBR	Nº EE
2.7	6	55556

Espesor (mm)	239.71
Espesor a Considerar (cm)	24

- ▶ **Espesor de mejoramiento = 50 cm**
- ▶ **Espesor de Base = 24 cm**

**Total = 74 cm**



**d) Resumen de Resultados**

**Tabla N° 03.- COMPARACION DE ESPESORES DE ACUERDO AL DISEÑO**

Tipo de Trafico		<b>T2</b>	<b>1.50E+05</b>
CBR Subrasante			<b>0.50%</b>

	<b>Diseño sin Geomallas (CBR=0.5% de la S.R.)</b>		
	<b>Gráfico Manual</b>	<b>Gráfico Manual</b>	<b>Ecuacion Manual</b>
	<b>S/Geomalla Base</b>	<b>S/Geomalla Base</b>	<b>S/Geomalla Base</b>
H Base (cm)	15	15	15
Geomalla Refuerzo Base	-	-	-
H Sub-base (cm)	35	13	
H Mejoramiento (cm)	-	30	75
Geomalla Refuerzo	-	-	-
<b>Altura Total Pavimento</b>	<b>50</b>	<b>58</b>	<b>90</b>

	<b>Mejora. C/Geomalla S.R. (CBR=6%)</b>	
	<b>Ecuacion Manual</b>	<b>Ecuacion Manual</b>
	<b>S/Geomalla Base</b>	<b>C/Geomalla Base</b>
H Base (cm)	28	24
Geomalla Refuerzo Base	-	<i>BX-1100</i>
H Sub-base (cm)		
H Mejoramiento (cm)	50	50
Geomalla Mejoramiento	<i>BX-1100</i>	<i>BX-1100</i>
<b>Altura Total Pavimento</b>	<b>78</b>	<b>74</b>

Como se podrá observar en la tabla N° 03, el aporte de la geomalla en disminuir el espesor de la base es de 4 cm, considerando que el CBR de la subrasante es de 6%. Podemos concluir que no se observa un gran aporte, esto debido a que las solicitudes de la cantidad de EE, es poco considerable, cabe indicar que a mayores solicitudes el aporte de la geomalla será mayor.

## CAPÍTULO 4

### INSTALACIÓN Y PROYECTOS DE APLICACIÓN DE GEOMALLAS.

#### 4.1 Instalación de la Geomalla.

Las geomallas se colocan directamente sobre la superficie del terreno blando y reforzando al mismo, de manera tal de permitir la instalación de la plataforma de trabajo sin inconvenientes, en mucho menos tiempo, sin necesidad de excavación y/o relleno extra y por lo tanto estaríamos hablando de una reducción de costos.

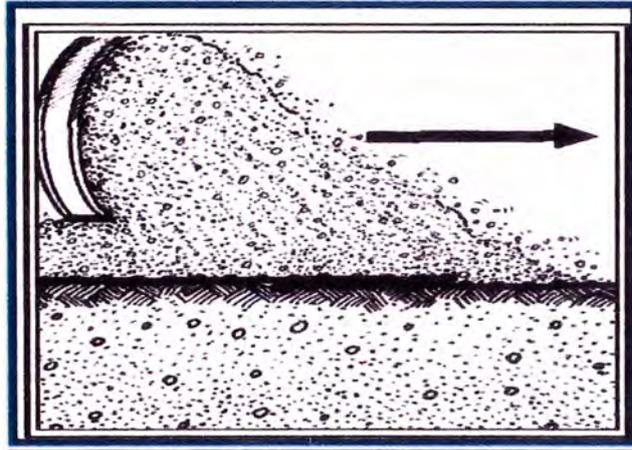


Figura N° 18.- Forma correcta de colocación de material de relleno, por encima de la geomalla.

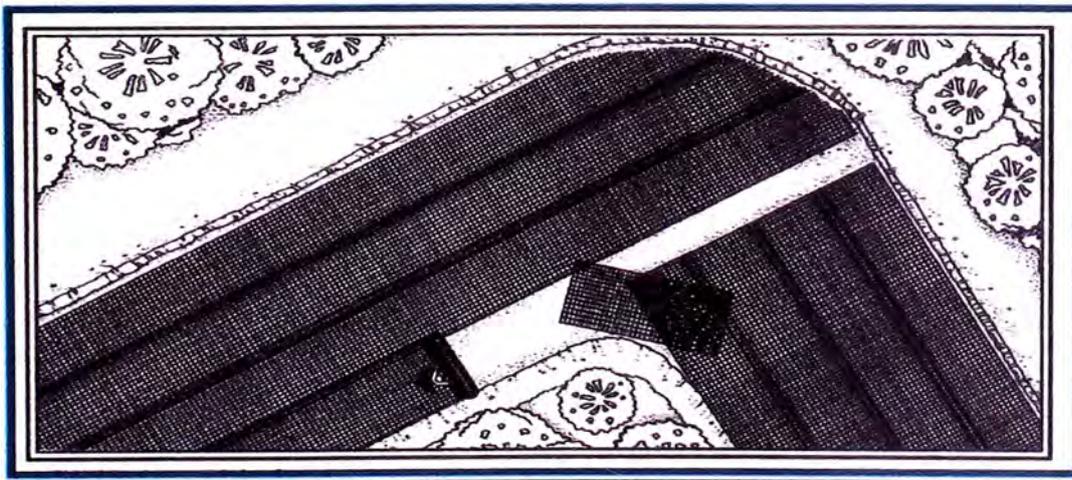


Figura N° 19.- Colocación de Geomallas en zonas de curva.

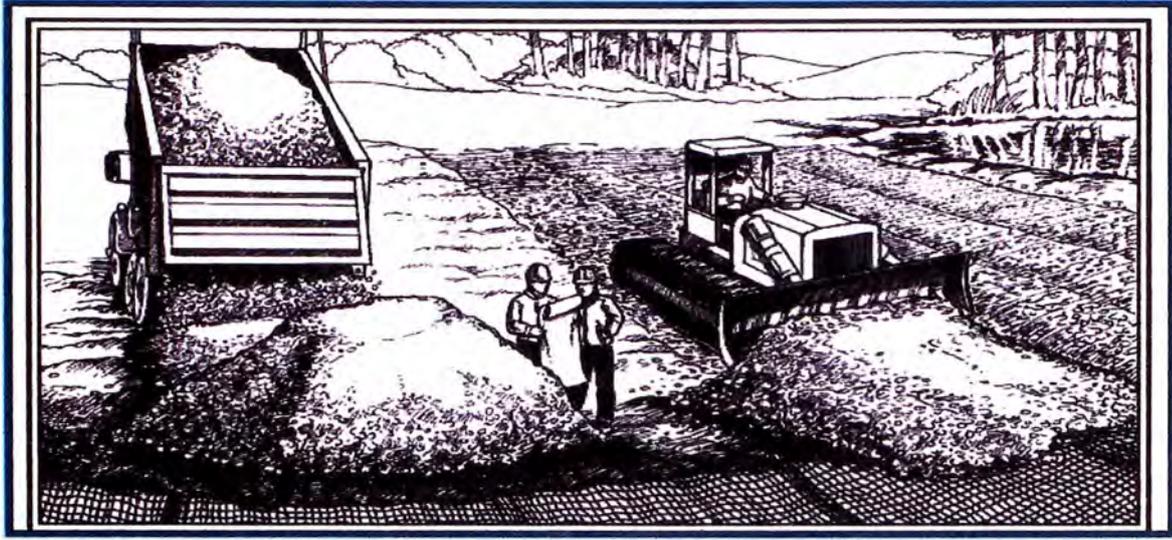
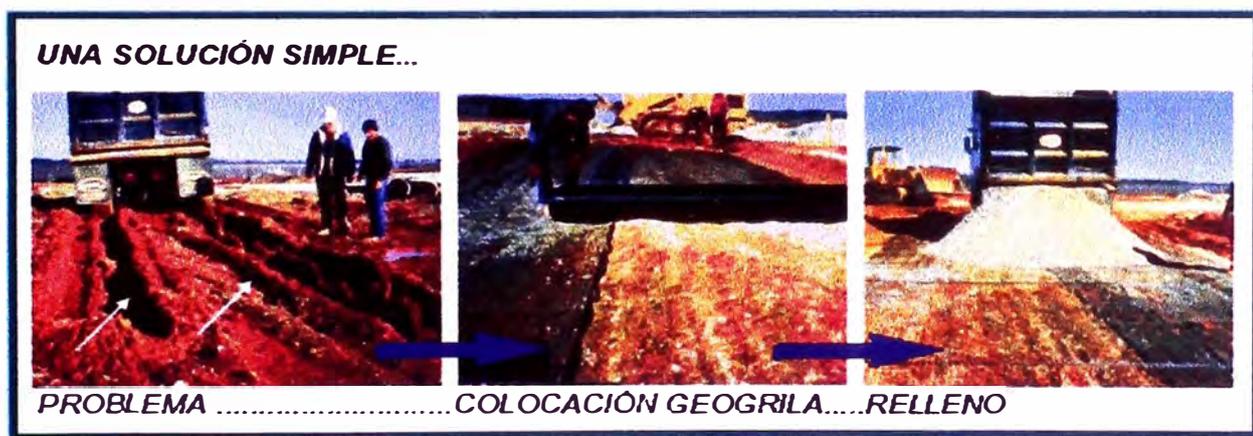


Figura N° 20.- Trabajos de extender material de relleno por encima de las geomallas.

El proceso constructivo del tramo experimental, la instalación de la geomalla y posteriormente el proceso de compactación se presentan en el anexo N° 01 (Panel Fotográfico).

## 4.2 Aplicaciones reales en carreteras.

- ▶ Maxus Ecuador Inc: Carretera de 150 km, es la vía de acceso a un campo de petróleo en el Amazonas. Donde permitió que la carretera soportase cargas de 70 toneladas de equipo, eliminando la necesidad de construir un camino empalizado, reduciendo en un 70% la deforestación.
- ▶ Rockville, Maryland Estados Unidos: Autopista I-270, requería de carriles adicionales, debido a la cantidad de tránsito. En vista de que el terreno por si solo no tenía la suficiente capacidad de carga, era evidente que se realizaría una excavación considerable y por consiguiente una capa gruesa de relleno entre 0.6 – 1.2 mts.; al considerar la instalación de la geomalla limitó la excavación a 0.30 mts., reduciéndose el programa de construcción en 90 días y el ahorro estimado en US\$ 1.5 millones.
- ▶ Carretera Tarapoto Yurimaguas - Perú.
- ▶ Carreteras Iquitos – Nauta – Perú.
- ▶ Carretera Cajamarca Yanacocha – Perú.
- ▶ Mina Pierina, Huaraz – Perú.
- ▶ Interoceánica Sur, Ccatca – Perú.



## CONCLUSIONES

- ▶ Las geomallas mejoran la sub rasante y refuerzan la base, al "absorber" los esfuerzos de tracción horizontal generados por el paso del tránsito sobre el pavimento.
- ▶ Las geomallas aseguran la distribución de los esfuerzos en una mayor superficie, reduciendo estos esfuerzos.
- ▶ Por su confinamiento homogéneo las geomallas permiten una mejor adherencia entre las capas sub base y base, ya que actúan trabando las partículas de la base.
- ▶ Por su estabilidad dimensional permite que las solicitaciones térmicas no la deformen y sus propiedades mecánicas sean compatibles con la del asfalto.
- ▶ Las geomallas presentan gran resistencia a la fatiga lo que permite mantener sus propiedades mecánicas originales bajo la acción de cargas cíclicas.
- ▶ El empleo de geomallas de refuerzo es un método efectivo y económico para evitar fisuras de reflexión. Después de más de 25 años de experiencia, se demuestra que las vías reforzadas perduran tres veces más y por lo tanto se reduce la frecuencia de las reparaciones y con ello se reducen los gastos de mantenimiento.
- ▶ La utilización de las geomallas, es mas ventajosa cuando se tiene suelos blandos con  $CBR < 3\%$ , para mejoramiento de subrasante y para  $CBR > 3\%$  se utiliza como refuerzo de base.
- ▶ La utilización de las geomallas, se puede justificar cuando el material de cantera se encuentre alejado de la zona de trabajo, como es el caso de muchas zonas de la selva peruana.
- ▶ Cuando se diseña para reforzar la base, se considera el parámetro TBR (Traffic Benefit Ratio), que permite incrementar el numero de pasadas de EE de 18 Kips en la cantidad indicada, que según el programa de diseño SPECTRA y los proveedores es de 3 y de acuerdo a los ensayos del U.S. Army of Engineers es de 2.7.
- ▶ Para nuestro diseño el ahorro que se tuvo fue de 4 cm. considerando la colocación de la geomalla, esto aparentemente no es mucho, pero existen otros beneficios colaterales, como la rapidez constructiva, ahorro en mantenimiento a mediano y largo plazo, transitabilidad inmediata, etc.

- ▶ Como la cantidad de tráfico solicitada para el proyecto es relativamente pequeña, no se nota un gran ahorro en cuanto a la reducción de espesores, pero si se tuviera mayores exigencias en el proyecto se notaría significativamente el aporte de la geomalla.
- ▶ Si se tiene un buen CBR en el terreno, la colocación de geomallas ya no se realizaría.
- ▶ Las metodologías de diseño se aplican generalmente a vías a nivel de pavimentos flexibles, en la cual la carpeta asfáltica tiene un aporte estructural considerable.

## RECOMENDACIONES

- ▶ Se recomienda hacer un buen estudio geotécnico de la vía a construir, ya que las variaciones pequeñas de algunos parámetros como el CBR, cambian considerablemente el diseño.
- ▶ Por lo expuesto en el párrafo anterior, el Manual de Diseño de Caminos de Bajo Volumen de Tránsito, debería tener una mayor división del rango de CBR, cuando es Muy Pobre. ( $CBR < 3\%$ ).
- ▶ Identificar los diferentes tipos de geomalla y condiciones mas adecuadas para obtener una selección de acuerdo con los requerimientos del proyecto.
- ▶ Cuando se requiera diseñar pavimentos que tenga un periodo de diseño largo y donde el mantenimiento no será en forma permanente, se recomienda utilizar geomallas biaxiales como refuerzo de base.
- ▶ Para lograr una evaluación técnico-económica eficiente utilizando la matriz de decisiones es necesario que el evaluador escoja criterios de evaluación lo más objetivas posibles.
- ▶ Como estos son productos nuevos que se vienen aplicando en nuestro país, es recomendable hacer un seguimiento del comportamiento que tienen las vías con el paso de los años, comprobar su funcionamiento, aporte o efectividad del producto en nuestras vías. Por que entendemos que cada proyecto tiene condiciones especiales.

## BIBLIOGRAFÍA

- ▶ CÉSPEDES ABANTO, JOSE Los Pavimentos en las Vías Terrestres, Edición N° 01, 2002, Cajamarca – Perú.
- ▶ KOERNER M., ROBERT Diseño con Geosintéticos, Cuarta Edición, 2003, EEUU.
- ▶ MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2000)., PERU
- ▶ MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES, Manual de Diseño de Caminos de Bajo volumen de Tránsito, PERU.
- ▶ PAVCO S.A., Manual de Diseño, Edición N° 07, 2006, Bogotá D.C. – Colombia.
- ▶ UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, Curso de Titulación por Actualización de Conocimientos, Aplicación de Geosintéticos en Obras de Ingeniería Civil, 2006 – 2007, Lima – Perú.
- ▶ [www.tensarcorp.com](http://www.tensarcorp.com)
- ▶ [www.tdm.com.pe](http://www.tdm.com.pe)

**ANEXO 01: Panel Fotográfico**



Fotografía N° 01.-Excavación de 1.2 mts., para realizar tramo de prueba sobre el comportamiento de la geomalla en terrenos que presentan CBR < 1%.



Fotografía N° 02.- Colocación de material cernido SC-SM, en el tramo de prueba, éste material presenta CBR pobres.



Fotografía N° 03.- Material saturado, así simular la condición más crítica, donde los CBR son menores.



Fotografía N° 04.- Material Degradado, para realizar aplicación de mejoramiento de la subrasante, mediante la geomalla.



Fotografía N° 05.- Colocación de geomalla sobre material degradado.



Fotografía N° 06.- Compactación de material de relleno, de acuerdo a las especificaciones técnicas.

**ANEXO 02:**

**Especificaciones Técnicas de la Geomalla BX1100.**



## Product Specification - Biaxial Geogrid BX1100

*Tensar Earth Technologies, Inc. reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the specifier and purchaser to ensure that product specifications used for design and procurement purposes are current and consistent with the products used in each instance. Please contact Tensar Earth Technologies, Inc. at 800-836-7271 for assistance*

**Product Type:** Integrally Formed Biaxial Geogrid  
**Polymer:** Polypropylene  
**Load Transfer Mechanism:** Positive Mechanical Interlock  
**Primary Applications:** Spectra System (Base Reinforcement, Subgrade Improvement)

### Product Properties

Index Properties	Units	MD Values <sup>1</sup>	XMD Values <sup>1</sup>
▪ Aperture Dimensions <sup>2</sup>	mm (in)	25 (1.0)	33 (1.3)
▪ Minimum Rib Thickness <sup>2</sup>	mm (in)	0.76 (0.03)	0.76 (0.03)
▪ Tensile Strength @ 2% Strain <sup>3</sup>	kN/m (lb/ft)	4.1 (280)	6.6 (450)
▪ Tensile Strength @ 5% Strain <sup>3</sup>	kN/m (lb/ft)	8.5 (580)	13.4 (920)
▪ Ultimate Tensile Strength <sup>3</sup>	kN/m (lb/ft)	12.4 (850)	19.0 (1,300)
<b>Structural Integrity</b>			
▪ Junction Efficiency <sup>4</sup>	%	93	
▪ Flexural Stiffness <sup>5</sup>	mg-cm	250,000	
▪ Aperture Stability <sup>6</sup>	m-N/deg	0.32	
<b>Durability</b>			
▪ Resistance to Installation Damage <sup>7</sup>	%SC / %SW / %GP	95 / 93 / 90	
▪ Resistance to Long Term Degradation <sup>8</sup>	%	100	
▪ Resistance to UV Degradation <sup>9</sup>	%	100	

### Dimensions and Delivery

The biaxial geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 3.0 meters (9.8 feet) or 4.0 meters (13.1 feet) in width and 75.0 meters (246 feet) in length. A typical truckload quantity is 185 to 250 rolls.

### Notes

1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values determined in accordance with ASTM D4759. Brief descriptions of test procedures are given in the following notes. Complete descriptions of test procedures are available on request from Tensar Earth Technologies, Inc.
2. Nominal dimensions.
3. True resistance to elongation when initially subjected to a load determined in accordance with ASTM D6637 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.
4. Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-87 and expressed as a percentage of ultimate tensile strength.
5. Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-95, using specimens of width two ribs wide, with transverse ribs cut flush with exterior edges of longitudinal ribs (as a "ladder"), and of length sufficiently long to enable measurement of the overhang dimension. The overall Flexural Stiffness is calculated as the square root of the product of MD and XMD Flexural Stiffness values.
6. Resistance to in-plane rotational movement measured by applying a 20 kg-cm (2 m-N) moment to the central junction of a 9 inch x 9 inch specimen restrained at its perimeter in accordance with U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measurement of Torsional Rigidity.
7. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to mechanical installation stress in clayey sand (SC), well graded sand (SW), and crushed stone classified as poorly graded gravel (GP). The geogrid shall be sampled in accordance with ASTM D5818 and load capacity shall be determined in accordance with ASTM D6637.
8. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 immersion testing.
9. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355.

Tensar Earth Technologies, Inc. warrants that at the time of delivery the geogrid furnished hereunder shall be of the quality and specification stated herein. If the geogrid does not meet the specifications on this page and Tensar is notified prior to installation, Tensar will replace the geogrid at no cost to the customer.

This product specification supersedes all prior specifications for the product described above and is not applicable to any products shipped prior to August 1, 2005

**ANEXO 03:**

**Características de la Geomalla para un Proyecto**

Las principales características de las geomallas son las siguientes:

- 1) **Módulo Inicial Real en Uso.-** Es la resistencia inicial a la elongación cuando el material es sometido a una carga. En el caso de la carretera Tacna – Tarata se exige un mínimo de 226.4 Kn/m en la dirección Longitudinal y 360.1 Kn/m en la dirección Transversal.
- 2) **Capacidad a la tensión al 2% de elongación.-** Es el esfuerzo a tensión para una deformación unitaria de 2%. En el caso de la carretera Tacna – Tarata se exige un mínimo de 4.09 Kn/m en la dirección Longitudinal y 6.57 Kn/m en la dirección Transversal.
- 3) **Capacidad a la tensión al 5% de elongación.-** Es el esfuerzo a tensión para una deformación unitaria de 5%. En el caso de la carretera Tacna – Tarata se exige un mínimo de 8.46 kn/m en la dirección Longitudinal y 13.42 kn/m en la dirección Transversal.
- 4) **Resistencia o capacidad de las Juntas.-** Es la resistencia que tiene la geomalla en las uniones de su entramado. En el caso de la carretera Tacna – Tarata se exige un mínimo de 11.2 kn/m en la dirección Longitudinal y 17.1 kn/m en la dirección Transversal.
- 5) **Rigidez Flexural.-** Es la resistencia de la geomalla a deformaciones debido a momentos flectores (dobles). En el caso de la carretera Tacna – Tarata se exige un mínimo de 250,000 Mg/cm.
- 6) **Rigidez Torsional.-** Es la resistencia de la geomalla a los momentos rotacionales en su plano. En el caso de la carretera Tacna – Tarata se exige un mínimo de 3.2 kg-cm/deg.
- 7) **Resistencia a la Degradación a Largo Plazo.-** Es la resistencia de la geomalla a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural cuando es expuesta a medios químicamente agresivos. Se exige una resistencia al 100%.
- 8) **Resistencia a daños de Instalación.-** Es la resistencia de la geomalla a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural cuando es expuesta a esfuerzos de instalación en suelos SC/SW/GP.

**ANEXO 04:**

**Planos del Proyecto**

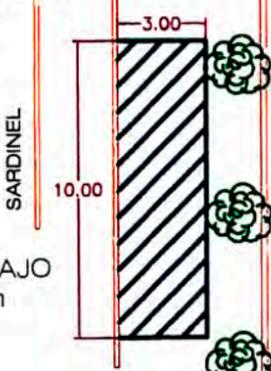
N



# SECTOR K

LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA

MURO PERIMETRO

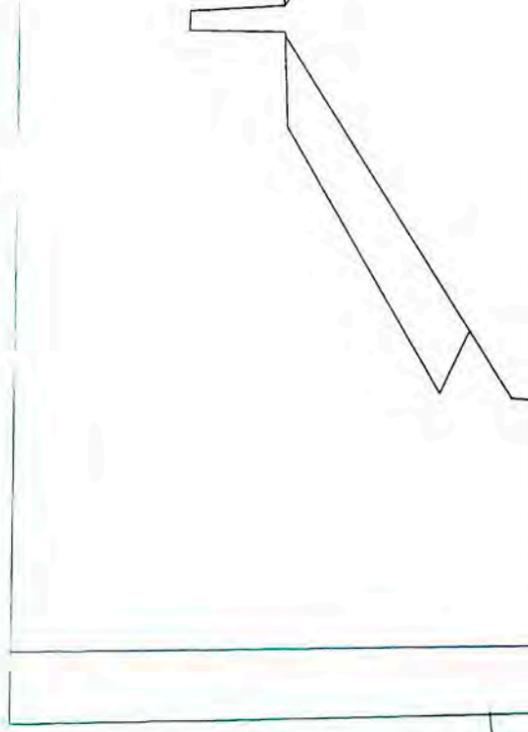


ZONA DE TRABAJO 10.00m x 3.00m

INGRESO

# SECTOR J

DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



FACULTAD DE ARQUITECTURA URBANISMO Y ARTES

# SECTOR H

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

# SECTOR G

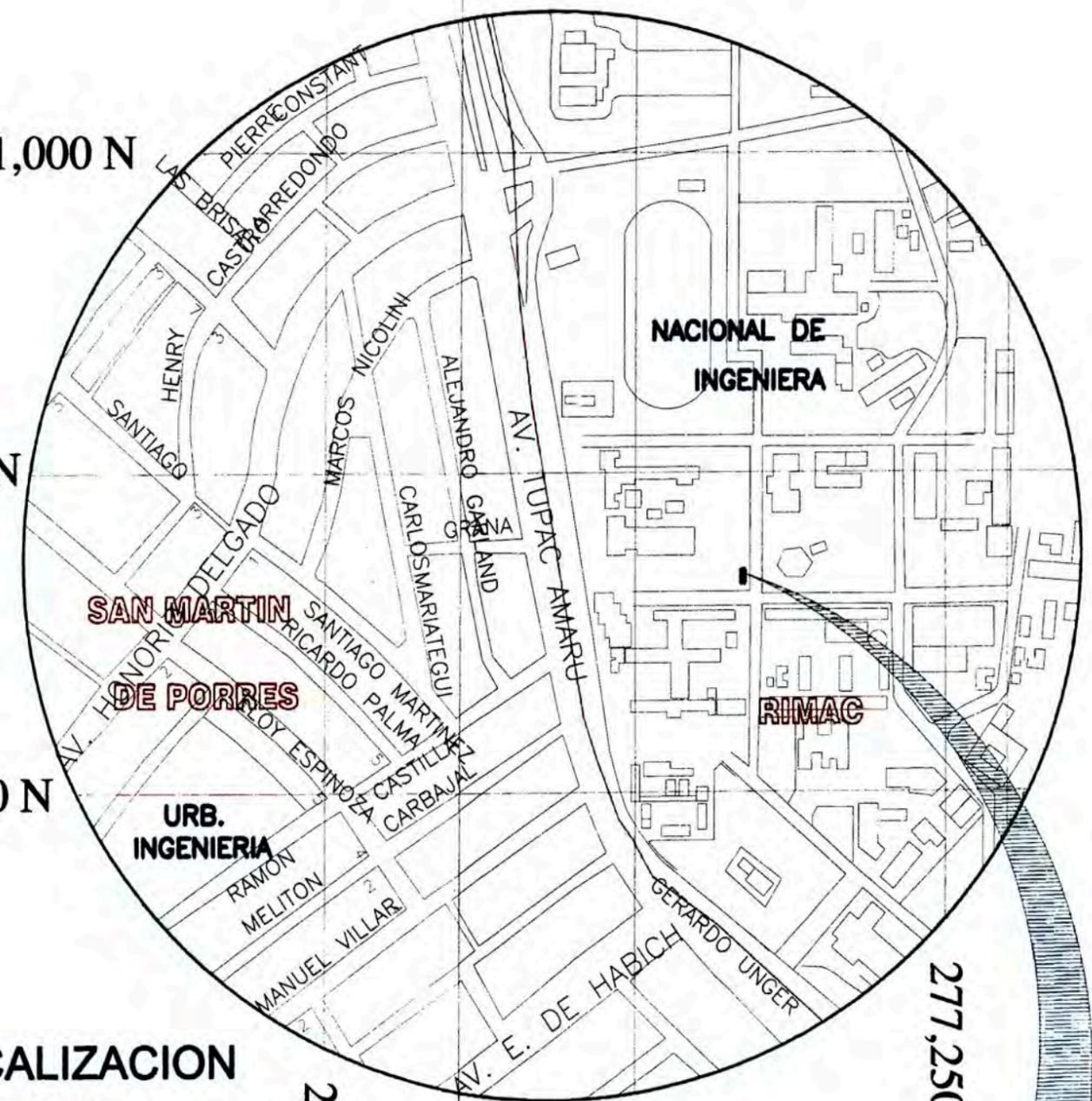
8'671,000 N

8'670,750 N

8'670,500 N

LOCALIZACION 1 / 5,000

UBICACION 1 / 250



NACIONAL DE INGENIERA

SAN MARTIN DE PORRES

URB. INGENIERIA

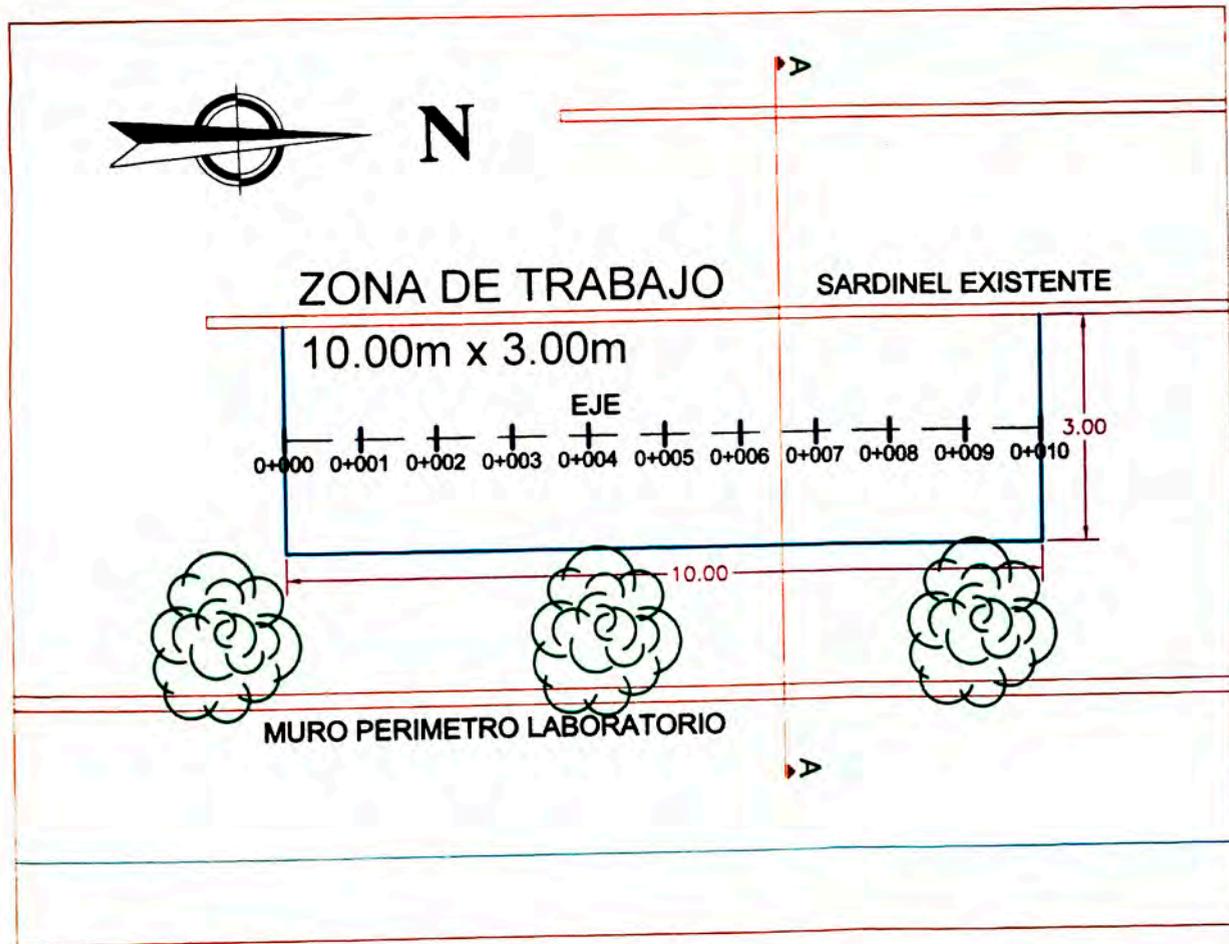
RIMAC

277,250 E

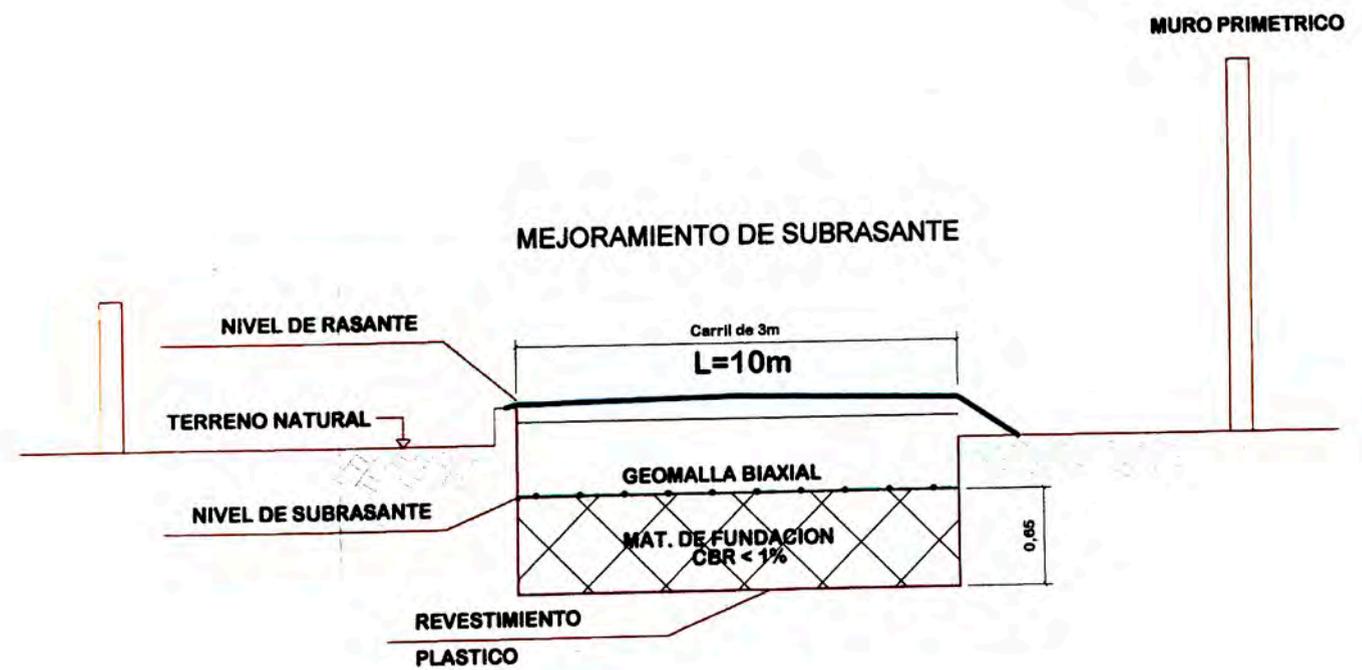
276,750 E

277,000 E

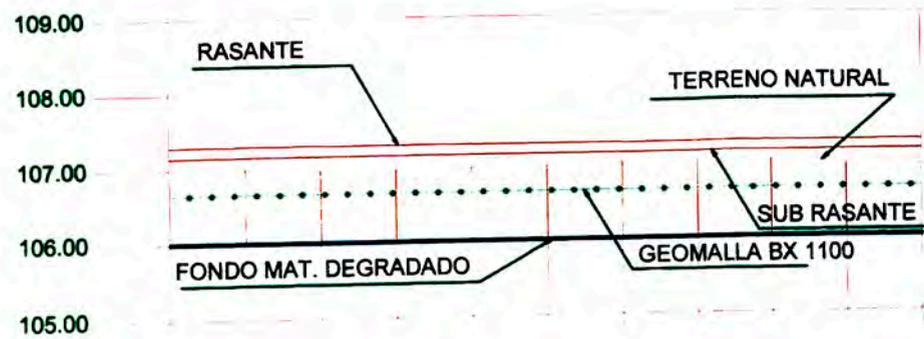
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		
CURSO DE TITULACION POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS		
APLICACION DE GEOSINTETICOS EN OBRAS DE INGENIERIA CIVIL		
PROYECTO:	APLICACION DE GEOMALLAS EN VIAS AFIRMADAS	
PLANO:	UBICACION - LOCALIZACION	PLANO N°
		U-01
INTEGRANTE:	GRUPO:	
CABRERA CASTILLO, EDWARD		
UBICACION:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - SECTOR K	
AUTOCAD:	FECHA:	ESCALA:
	JUNIO 2007	INDICADA



**PLANTA**  
1 / 100



**CORTE A - A**  
1 / 50



LEYENDA	
—	EJE DE VIA
0+009	PROGRESIVA

**PERFIL LONGITUDINAL**

H = 1 / 100  
V = 1 / 100

PROGRESIVA	0+000	0+001	0+002	0+003	0+004	0+005	0+006	0+007	0+008	0+009	0+100
COTA DE TERRENO	107.048	106.988	106.983	106.983	106.978	106.988	107.033	107.038	107.028	106.973	106.938
COTA DE RASANTE	107.30	107.288	107.286	107.284	107.282	107.29	107.288	107.286	107.284	107.282	107.28
COTA DE SUB RASANTE	107.15	107.15	107.15	107.15	107.15	107.15	107.15	107.15	107.15	107.15	107.15
ALTURA CORTE	0.368	0.348	0.313	0.313	0.328	0.348	0.383	0.388	0.378	0.323	0.288
PENDIENTE	0.20 %										

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA CURSO DE TITULACION POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS APLICACION DE GEOSINTETICOS EN OBRAS DE INGENIERIA CIVIL		
PROYECTO: APLICACION DE GEOMALLAS EN VIAS AFIRMADAS		
PLANO: PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL		PLANO N°: P-01
INTEGRANTES: CABRERA CASTILLO, EDWARD	GRUPO:	UBICACION: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - SECTOR K
AUTOCAD:	FECHA: JUNIO 2007	ESCALA: INDICADA