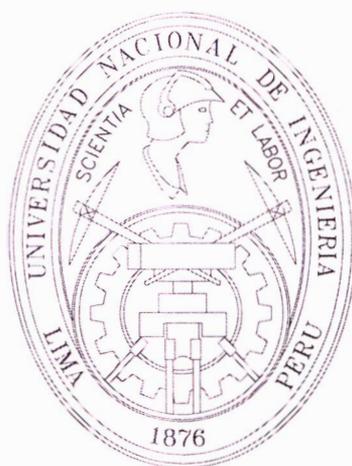


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Civil



APLICACIÓN DE GEOMALLAS EN VIAS AFIRMADAS
DISEÑO DEL REFUERZO DE LA SUBRASANTE

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de :
INGENIERO CIVIL

CARLOS WILMER HUAMANI TINCO

Lima - Perú

2007

AGRADECIMIENTO

UN SINCERO AGRADECIMIENTO A MIS PADRES SR. CALIXTO HUAMANI DE LA CRUZ Y SRA. ALBERTA TINCO DE LA CRUZ, POR SUS ESFUERZOS QUE REALIZARON EN MI EDUCACIÓN Y ENSEÑANZAS QUE ME INCULCARON DESDE NIÑO Y QUE HOY SE REFLEJAN EN LOS LOGROS OBTENIDOS Y LAS QUE VENDRAN, NO HUBIERA SIDO POSIBLE TAMBIEN OBTENER ESTE RESULTADO SIN EL APOYO DE MIS HERMANAS YESSICA, YANETH Y EDITH, TAMBIEN DEBO AGRADECER A MI NOVIA MILEY PEREZ BENAVIDES QUIEN ME MOTIVA HA SEGUIR CUMPLIENDO CON MIS METAS.

ASI MISMO DEBO AGRADECER A MIS AMIGOS ING. HUMBERTO GUZMÁN Q., ING. JOSE JUSTINIANO M., ING. JULIO SILVA M. Y COMPAÑEROS DE TRABAJO QUIENES ME DIERON SU APOYO DE MANERA INCONDICIONAL.

ÍNDICE

INDICE	01
RESUMEN	03
LISTA DE FIGURAS	06
LISTA DE CUADROS	08
LISTA DE SIMBOLOS Y DE SIGLAS	09
INTRODUCCIÓN	10
CAPITULO 1 – GEOMALLAS	12
1.1 Generalidades	12
1.1.1 Proceso de fabricación	12
1.1.2 Norma involucradas en Geomallas	14
1.2 Tipos de Geomalla	17
1.2.1 Geomallas Uniaxiales	17
1.2.2 Geomallas Biaxiales	18
1.3 Propiedades de las Geomallas	22
1.3.1 Propiedades físicas	22
1.3.2 Propiedades mecánicas	22
1.4 Mecanismos de refuerzo generados por la Geomalla Biaxial	26
1.4.1 Confinamiento lateral de la base o subbase	27
1.4.2 Mejoramiento de la capacidad portante	27
1.4.3 Membrana tensionada	28
1.5 Especificaciones Técnicas de la Geomalla Biaxial	29
CAPITULO 2 – MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE	33
2.1 Refuerzo de Vías Afirmadas	33
2.2 Alternativas de Mejoramiento de Subrasante	35
2.3 Mejoramiento de Subrasantes aplicando Geomalla en el Perú	38

CAPITULO 3 – DISEÑO DEL REFUERZO DE LA SUBRASANTE	42
3.1 Metodología de Diseño	42
3.2 Método de Diseño para Vías afirmadas reforzadas con Geomalla desarrollados por Giroud - Han.	43
3.3 Cálculo del refuerzo de la Subrasante	48
3.4 Uso de Software que incorpora el Método de Giroud – Han	51
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFIA	55
ANEXOS	56
Anexo 1 – Panel fotográfico	57
Anexo 2 – Memoria de calculo del Sistema Spectra	63
Anexo 3 – Planos	71
Anexo 4 – Especificación Geomalla Tensar BX 1100	74

RESUMEN

En el curso de Titulación por Actualización de Conocimientos denominado “Aplicación de Geosintéticos en Obras de Ingeniería Civil”, se formaron grupos de trabajo a los cuales se les asignó un tipo de Geosintético por grupo, con la finalidad de aplicarlo en proyectos específicos, elaborando así un Informe Grupal de trabajo que sirvió posteriormente para la ejecución de la obra.

Al grupo de trabajo que integré le correspondió estudiar el Geosintético denominado Geomalla Biaxial para el uso específico en pavimentos a nivel de afirmado, dando lugar al título de nuestro Informe de Suficiencia: “Aplicación de Geomallas en Vías Afirmadas”.

Para el desarrollo de los Informes de Suficiencia de cada uno de los integrantes del Grupo se tomó diferentes temas de investigación relacionados al tema asignado.

El tema del presente Informe de Suficiencia es: “Diseño del Refuerzo de la Subrasante”. Para ello se realizó un trabajo práctico en el área del Laboratorio Nacional de Hidráulica – UNI, tal como se indica la ubicación en la figura siguiente, con la Geomalla Biaxial TENSAR BX1100 donado por la empresa TDM.

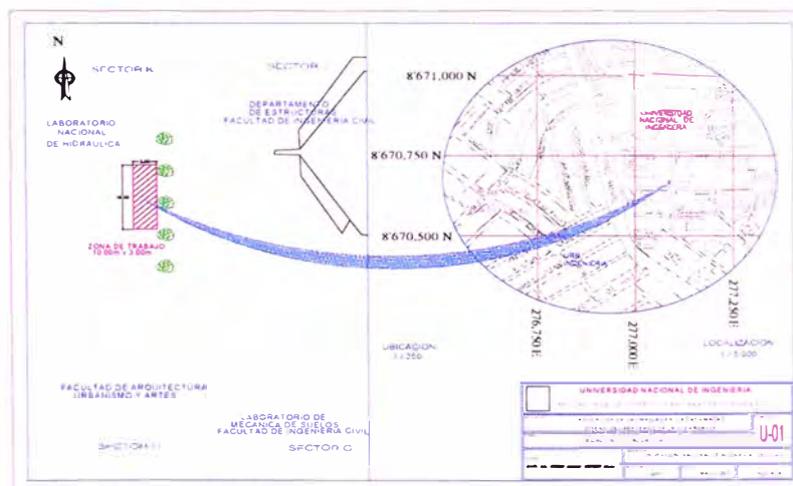


Figura 0.1– Ubicación de zona de trabajo

El terreno ubicado en el Laboratorio de Hidráulica no reunía las condiciones para la aplicación de dicha Geomalla, pues debería tener un $CBR < 1\%$ por lo que se optó por degradar el terreno en un área de $3\text{m} \times 10\text{m}$, para lo cual se realizó una excavación de 1.20m de profundidad y se reemplazó con una combinación de suelo de chacra extraído de la Panamericana Norte a la altura de la Av. Habich, con material propio y de préstamo hasta obtener 20 m^3 colocado en capas hasta obtener un espesor total de 0.65 m de suelo degradado, posteriormente se agregó un volumen determinado de agua para obtener un CBR aproximadamente del 0.5% .

Con los resultados obtenidos en campo se realizó el diseño del mejoramiento de subrasante aplicando el Método de Giroud –Han que nos permite determinar el espesor de la capa de relleno el cual dio como resultado 44.6 cm . De la misma forma se calculó el espesor de la capa de relleno sin refuerzo con Geomalla dando como resultado de 68 cm . Notándose que se obtuvo una reducción de 23.4cm . de material de relleno que expresado en porcentaje de ahorro de material es de 34.4% .



Figura 0.2 – Sección de suelo degradado

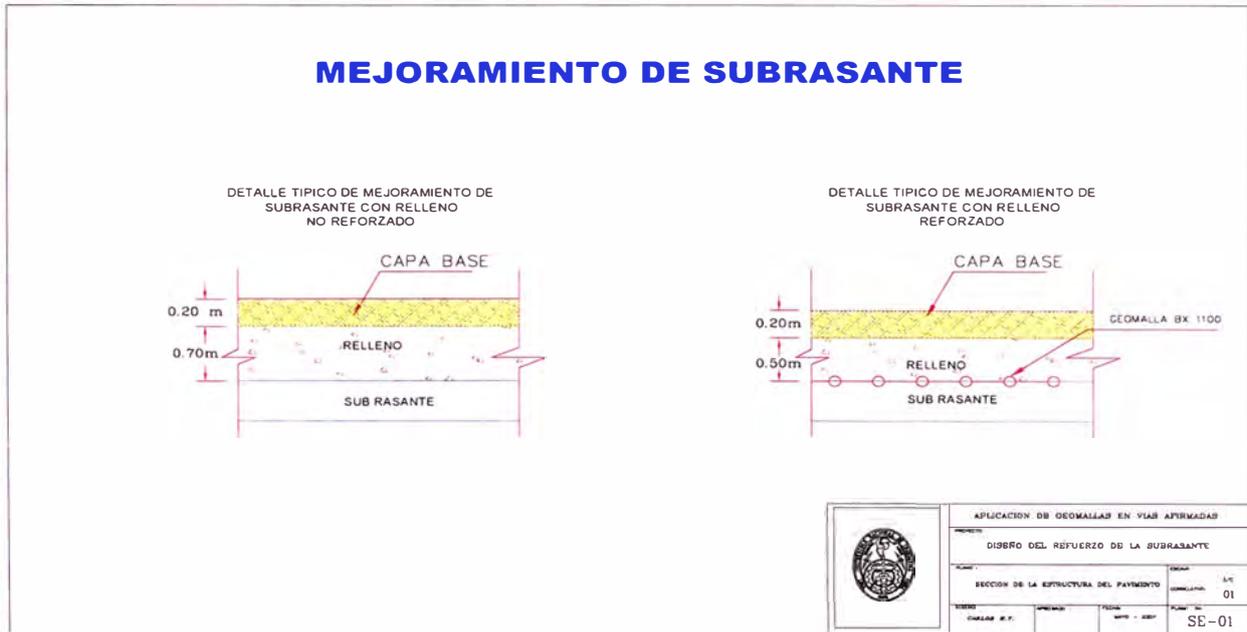


Figura 0.3 – Sección del Refuerzo de la Subrasante

LISTA DE FIGURAS

- Figura 0.1 – Ubicación de zona de trabajo
- Figura 0.2 – Sección de suelo degradado
- Figura 0.3 – Sección del Refuerzo de la Subrasante
- Figura 1.1 – Geomalla biaxial
- Figura 1.2 – Esquema del proceso de fabricación de las Geomallas.
- Figura 1.3 – Esquema de estiramiento de las Geomallas
- Figura 1.4 – Esquema real de fabricación de las Geomallas
- Figura 1.5 – Esfuerzo a la Tracción
- Figura 1.6 – Ensayo de tracción en nodos
- Figura 1.7 – Esfuerzo en los nodos
- Figura 1.8 – Resistencia de la retirada
- Figura 1.9 – Geomalla Uniaxial
- Figura 1.10 – Geomalla Biaxial
- Figura 1.11 – Carretera Tarapoto – Yurimaguas, 2005 (Provias Nacional)
Geomalla Biaxial BX1200 (Mejoramiento de subrasante)
- Figura 1.12 – Interoceánica Sur - Ccatca Km. 42+200, 2006
Geomalla Biaxial BX1100 (Refuerzo de Base)
- Figura 1.13 – Aplicación de Geomalla en zona pantanosa
- Figura 1.14 – Disposición del Ensayo para medir la resistencia de la unión en aislamiento
- Figura 1.15 – Resistencia a la tensión de muestra ancha
- Figura 1.16 – Esfuerzo de corte en Geomallas
- Figura 1.17 – Confinamiento Lateral generado por la Geomalla en un material granular
- Figura 1.18 – Transmisión de carga a la capa granular
- Figura 2.1 – Distribución de esfuerzos sobre la subrasante
- Figura 2.2 – Distribución piramidal de la carga
- Figura 2.3 – Estabilización con cemento
- Figura 2.4 – Mejoramiento de Subrasante aplicando Geomalla Carretera Iquitos – Nauta, 2004, Tramo IV: entre Nauta y Puente Itaya.
- Figura 2.5 – Mejoramiento de Subrasante aplicando Geomalla Carretera Iquitos – Nauta, 2004

-
- Figura 3.1 – Distribución de esfuerzos en forma de cono
- Figura 4.1 – Área de trabajo designado al Grupo N° 04, excavación de 1.20m de profundidad.
- Figura 4.2 – Excavación del terreno
- Figura 4.3 – Personal zarandeando el material para ser usado como suelo de fundación.
- Figura 4.4 – colocación de material cernido en el terreno
Impermeabilizado con plástico
- Figura 4.5 – Emplantillado espesor del suelo degradado 0.65m.
- Figura 4.6 – Nivelación del material degradado
- Figura 4.7 – Saturación del material cernido para obtener un CBR < 1%
- Figura 4.8 – Obtención de muestras para el laboratorio
- Figura 4.9 – Material sometido a compactación en gabinete y saturación al 100% para ensayarse con el DPL
- Figura 4.10 – Material para la conformación del relleno

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1.1 – Resistencia a la Tensión
- Cuadro 1.2 – Geomalla Biaxial – Características
- Cuadro 3.1 – Proceso de diseño

LISTA DE SIMBOLOS Y DE SIGLAS

α	:	Ángulo de distribución de esfuerzos.
Cu	:	Esfuerzo de corte no drenado de la subrasante.
Nc	:	Factor de capacidad de carga de la subrasante
m	:	Coeficiente de movilización de la capacidad de carga.
N	:	Es el número de pasadas de ejes de vehículos en la etapa de Construcción del mejoramiento de la subrasante.
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.
BX1100	:	Geomalla de la marca Tensar
ASTM	:	Norma Americana de Ensayo de Materiales
GRI	:	Organización de Investigación de Geosintéticos
ISO	:	Organización Internacional para la Estandarización
HDPE	:	Polietileno de alta densidad.
MARV	:	Valor Mínimo Promedio por Rollo
PET	:	Poliéster

INTRODUCCIÓN

La metodología Giroud – Han desarrollada en el año 2001 ha sido obtenida finalmente tomando en cuenta dos métodos de diseño para determinar el espesor de la capa de relleno en vías afirmadas.

Giroud y Noiray en 1981 desarrollaron el primero de estos métodos clásicos y Tensar Corporation en 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.

Los diseñadores empleaban ambos métodos, aplicando un importante factor de seguridad en la selección de los parámetros introducidos. Este enfoque lleva a un desempeño eficaz pero no produce el diseño más eficiente.

El uso de Geomallas 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 permitió a los Doctores Giroud y Han desarrollar y verificar un método de diseño mejorado.

El Método Giroud-Han incorpora la resistencia y el módulo del material básico, variaciones de los ángulos de distribución de esfuerzos a través de la capa de apoyo y la propiedad del módulo de estabilidad de la abertura (rigidez) del refuerzo Geosintético, además de todos los parámetros adicionales considerados por el Método G&N.

En consecuencia, este método mejorado permite introducir parámetros más precisos para predecir mejor su comportamiento. A su vez lleva a un uso más eficiente de los recursos de agregados, equipos de construcción, mano de obra y tiempo.

Luego de realizar una breve descripción de la metodología y la importancia del mismo cabe indicar que el presente informe tiene como objetivo diseñar el mejoramiento de Subrasante con la aplicación de la Geomalla Biaxial BX1100, comparando luego el resultado con el mejoramiento sin el uso de la Geomalla.

A continuación se desarrollará un resumen de los capítulos.

En el capítulo uno “Geomallas”, abarca los aspectos teóricos de la Geomalla, a fin de dar conocer sus características, tipos, propiedades, mecanismos de refuerzo y las especificaciones técnicas de la Geomallas Biaxiales.

En el capítulo dos “Mejoramiento de subrasante”, se ha desarrollado la importancia de mejorar la subrasante mostrando así las alternativas convencionales comparando con la aplicación de Geomallas Biaxiales dando así conocer otras tecnologías que pueden ser beneficiosas reduciendo tiempo de construcción y costo. Así mismo se ha realizado una relación de obras ejecutadas en el Perú, en las que se han utilizado las Geomallas con el propósito de mejorar la subrasante permitiendo conocer su uso masivo de estas y adaptarse a las nuevas tecnologías que aun no estamos acostumbrados.

Finalmente en el capítulo tres se presenta una metodología eficiente y eficaz que nos permite el diseño del refuerzo de la subrasante, desarrollado por los Doctores Giroud – Han, en el año 2001, con esta metodología se ha calculado el espesor del relleno aplicando geomalla con fines de mejorar la subrasante degradada. Para corroborar el diseño se ha empleado el programa Spectrapave 2 desarrollado por el fabricante y colaborador de los estudios de las Geomallas Tensar Earth Technologies Inc.

CAPÍTULO I: GEOMALLAS

1.1 GENERALIDADES

Las Geomallas son geosintéticos constituidos por un conjunto de nervaduras o costillas de tensión, paralelas y conectadas, con aberturas para permitir la trabazón del suelo o piedra, u otro material geotécnico circundante.

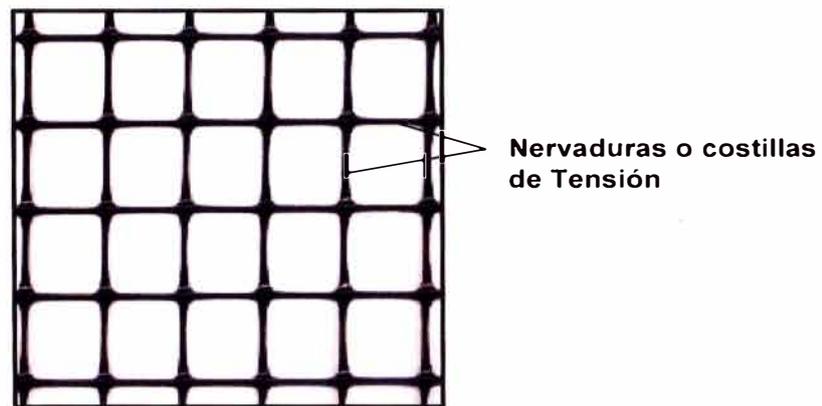


Figura 1.1 Geomalla Biaxial

Así, las geomallas son materiales con forma de matrices, con grandes espacios abiertos llamados aberturas, los cuales típicamente son de 10 a 100 mm entre costillas denominadas longitudinales y transversales respectivamente. Las costillas por si mismas pueden ser fabricadas por varios materiales y los métodos para unir las costillas son variados.

1.1.1 Proceso de fabricación

Para el caso de las Geomallas de polietileno y polipropileno, el proceso de fabricación es el mismo.

POLIMERO	UNIDAD REPETIDA	TIPOS DE GEOSINTETICOS
Polietileno(PE)	$\left[\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \right]_n$	Geotextiles, Geomembranas Geomallas, Geotubos, Georedes, Geocompuestos
Polipropileno(PP)	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH} - \text{CH}_2 \end{array} \right]_n$	Geotextiles, Geomembranas Geomallas Geocompuestos

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

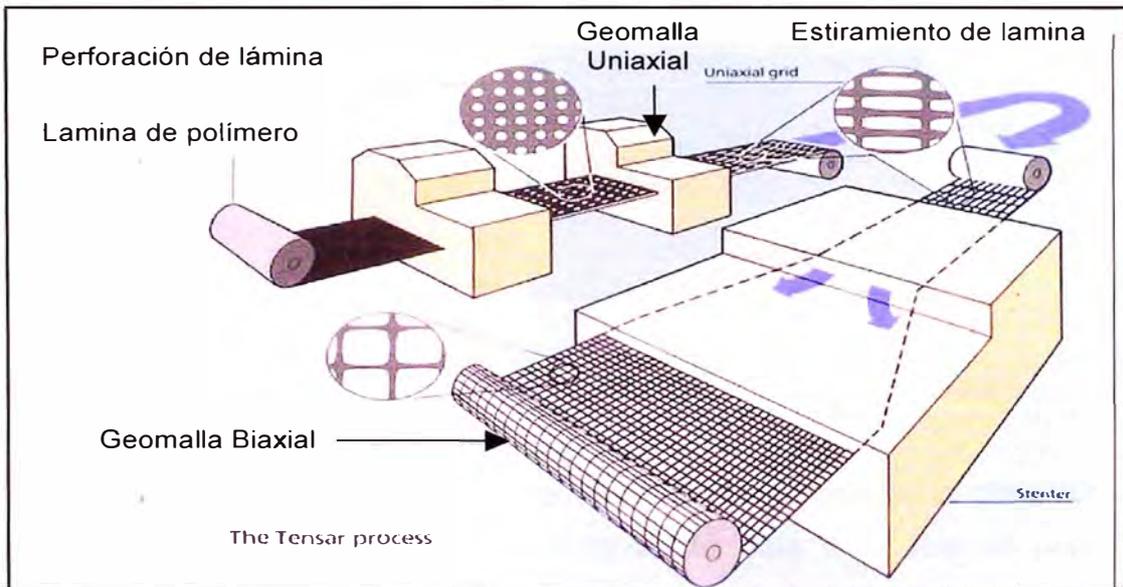


Figura 1.2 Esquema del proceso de fabricación de las Geomallas

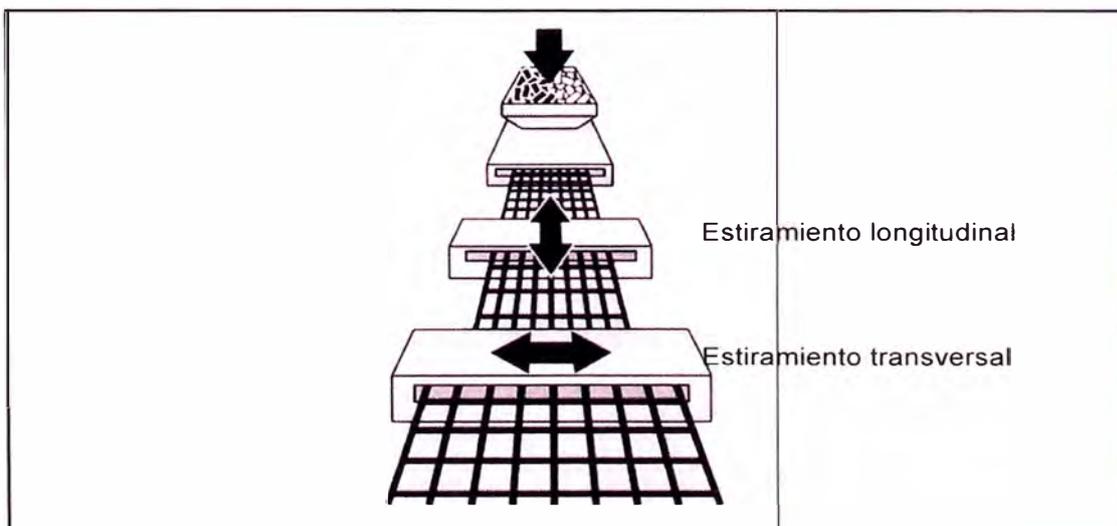


Figura 1.3 Esquema de estiramiento de las geomallas



Figura 1.4 Esquema real de fabricación de las Geomallas

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

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

1.1.2 Normas involucradas en Geomallas

- Masa por unidad de área (ISO 9864, ASTM D 1910, ASTM D 3776, ASTM D 5261, ASTM D 5993)

El peso de un Geosintético se expresa por unidad de área pesando pequeñas probetas de ensayo circulares o cuadradas de dimensiones conocidas.

- Esfuerzos a la Tracción al 2% de elongación (GRI-GG1 / ISO 10319)

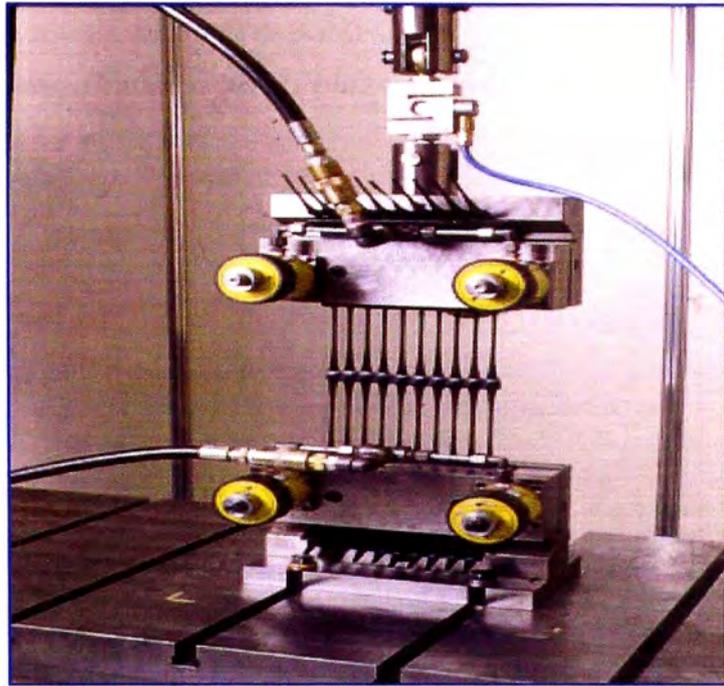


Fig. 1.5 – Esfuerzo a la Tracción

- Esfuerzos a la Tracción al 5% de elongación (GRI-GG1 / ISO 10319)
- Resistencia en las juntas (GRI-GG2)

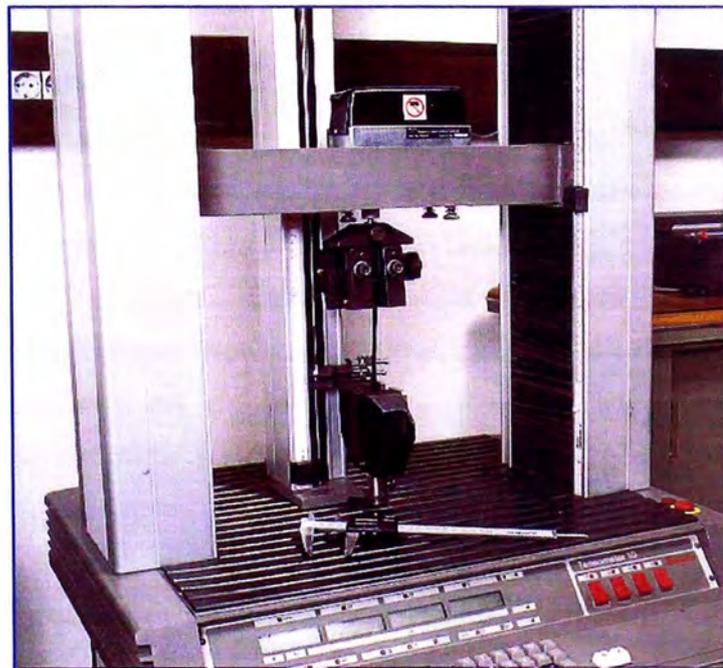


Fig. 1.6 – Ensayo de tracción en nodos

- Fuerza a largo plazo de diseño (GRI-GG4)

Determina la resistencia a largo plazo que se ve reflejado en la vida útil del proyecto.

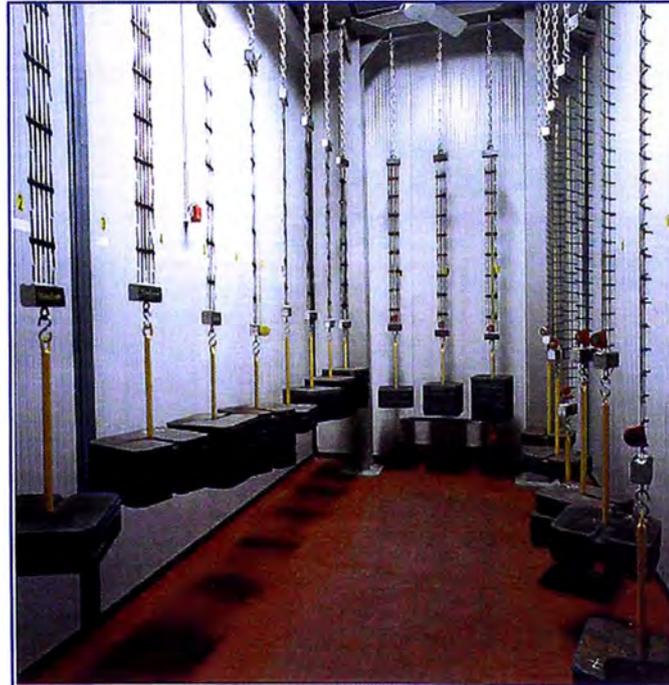


Fig. 1.7 – Esfuerzo en los nodos

- Rigidez Flexural (ASTM D 1388)

Existe una propiedad física de las Geomallas, importante en la CONSTRUCTIBILIDAD, que se llama RIGIDEZ. Esta puede ser medida mediante el ensayo de rigidez flexural ASTM D 1388.

Este método de ensayo consiste en deslizar un espécimen de la Geomalla sobre un plano inclinado a un ángulo de 41.5° con la horizontal. Cuando la Geomalla se dobla y eventualmente toca la superficie del plano inclinado, se mide su distancia y luego se relaciona con la masa por unidad de área.

Las Geomallas rígidas, generalmente fabricadas de polipropileno o polietileno, son caracterizados por rigideces flexurales mayores a 1,000 gr – cm.

Las Geomallas flexibles, asociadas al proceso de tejido de fibras de poliéster, poliamidas y fibras de vidrio son caracterizadas por rigideces flexurales menores de 1,000 gr – cm.

- Resistencia de la retirada o pull out (ASTM D 6706)
Sirve para realizar una comparación de Geosintéticos para refuerzo con interacción del suelo.

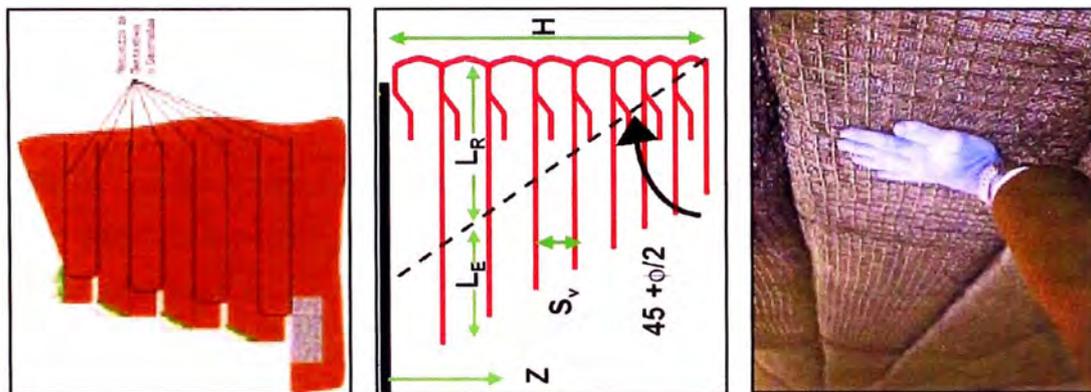


Fig. 1.8 – Resistencia de la retirada

1.2 TIPOS DE GEOMALLAS

1.2.1 Geomallas Uní axiales

En las Geomallas uní axiales, los agujeros circulares producidos en una lámina de polietileno de alta densidad (HDPE), utilizando un proceso de extrusión seguido de un estiramiento mono-direccional llegan a ser elipses alargadas. Por tanto, su estructura molecular es fuertemente alargada, el módulo y la resistencia a la deformación por carga sostenida son incrementadas.

Este tipo de Geomallas de HDPE, son totalmente inertes a las condiciones químicas o biológicas que se presentan normalmente en el suelo, poseen gran resistencia a los esfuerzos de tensión, soportando hasta 160KN/m aproximadamente.

Esto, con la capacidad del suelo de absorber los esfuerzos de compresión, da como resultado el concepto de estructura en suelo reforzado, similar al concepto del concreto y el acero de refuerzo.

Las Geomallas uní axiales son para aplicaciones en las cuales la dirección de los esfuerzos principales mayores es conocida.

Por ejemplo:

- Para la estabilidad de terraplenes construidos sobre suelos blandos, para caminos de acceso, diques, 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.

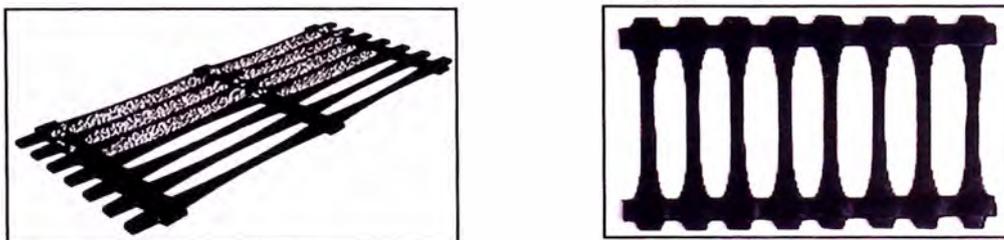


Figura 1.9 - Geomalla Uniaxial

1.2.2 Geomallas Biaxiales

En las Geomallas Biaxiales, los agujeros cuadrados en una lámina de polipropileno, químicamente inertes y con características uniformes y homogéneas, producidas mediante un proceso de extrusión y luego estiradas de forma longitudinal y transversal.

Forman finalmente aberturas casi cuadradas o rectangulares; así la resistencia se incrementa en ambas direcciones.

Dichas Geomallas son para aplicaciones en las cuales los esfuerzos movilizados son esencialmente al azar, o como se indica en el siguiente párrafo sobre aplicaciones de las Geomallas.

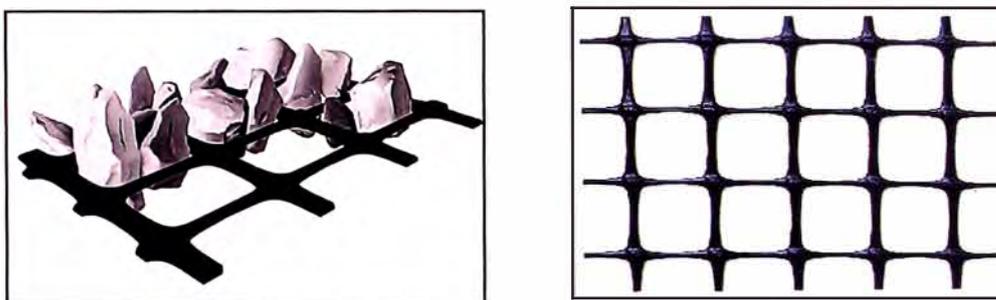


Figura 1.10 - Geomalla Biaxial

Funciones y aplicaciones de la Geomallas

El uso de las Geomallas Uniaxiales y Biaxiales, en diferentes campos de aplicación se define básicamente por su función de refuerzo. Esta función se realiza cuando la Geomalla inicia un trabajo de resistencia a la tensión complementado con un trabazón de agregados en presencia de diferentes tipos de materiales, de esta manera las subdivisiones dentro del Informe no son por función, sino por el tipo de aplicación del refuerzo.

Las aplicaciones más importantes de las Geomallas son las siguientes:

- 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 con grandes distancias de canteras y especialmente dificultosos cuando se construye en época lluviosa.



Figura 1.11 - Carretera Tarapoto – Yurimaguas, 2005 (Provias Nacional)
Geomalla Biaxial BX1200 (Mejoramiento de subrasante)

- Para el refuerzo de bases granulares de vías pavimentadas y no pavimentadas, que nos permite reducir los espesores de las capas granulares y/o incrementar la vida útil del pavimento, mediante los mecanismos de trabazón y confinamiento.



Figura 1.12 - Interoceánica Sur - Ccatca Km. 42+200, 2006
Geomalla Biaxial BX1100 (Refuerzo de Base)

- 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.



Figura 1.13 – Aplicación de Geomalla en zona pantanosa

El principal criterio para escoger el tipo de Geomalla es básicamente estudiando como se generan y transmiten los esfuerzos a lo largo de la estructura a reforzar, por ejemplo en muros en suelo reforzado, sabemos que los esfuerzos principales están en una sola dirección debido a la presión lateral de tierras que el suelo retenido ejerce sobre la estructura. Mientras que para refuerzo en estructuras de pavimento, los esfuerzos verticales generados por el tráfico, son disipadas en varias direcciones, por lo que el diseño de la Geomalla para realizar el refuerzo debe tener las mismas propiedades mecánicas tanto en el sentido longitudinal como en el transversal.

1.3 PROPIEDADES DE LAS GEOMALLAS

1.3.1 Propiedades Físicas

Algunas de las propiedades físicas de las Geomallas se pueden medir directamente y están relativamente direccionadas. Estas incluyen el tipo de estructura, tipo de unión, tamaño de abertura y espesor.

Otras propiedades que son de interés son la masa por unidad de área, la cual varía en un amplio rango de 200 a 1000 g/m² y el porcentaje de área abierta el cual varía de 40% a 95%.

Una propiedad física adicional de las Geomallas es su rigidez, esta se puede medir usando la norma ASTM D1388.

Las Geomallas rígidas, generalmente fabricadas de polipropileno o polietileno, como es el caso de la Geomalla Biaxial de polipropileno utilizada nuestra experiencia, son caracterizados por rigidez flexurales mayores a 1,000 gr – cm. En cambio las Geomallas flexibles, asociadas al proceso de tejido de fibras de poliéster, poliamidas y fibras de vidrio son caracterizadas por rigideces flexurales menores de 1,000 gr – cm.

1.3.2 Propiedades Mecánicas

Todas las propiedades mecánicas de las Geomallas tratadas en este informe se refieren directamente a su uso en aplicaciones de refuerzo. Algunas provienen de ensayos, mientras que otras están claramente orientadas al comportamiento.

a) Resistencia de la junta (nudo) y costilla simple

Es un ensayo índice, que consiste en someter una costilla de la Geomalla a una tensión mediante una máquina a una tasa constante de elongación. El método de ensayo de junta o nodo aislado utiliza una fijación mediante grapas. La resistencia de la junta es medida en unidades de fuerza. Si tenemos la

resistencia de costilla simple y la resistencia de la junta, podemos calcular una eficiencia. Dichas eficiencias pueden variar entre 7 y 100 %.

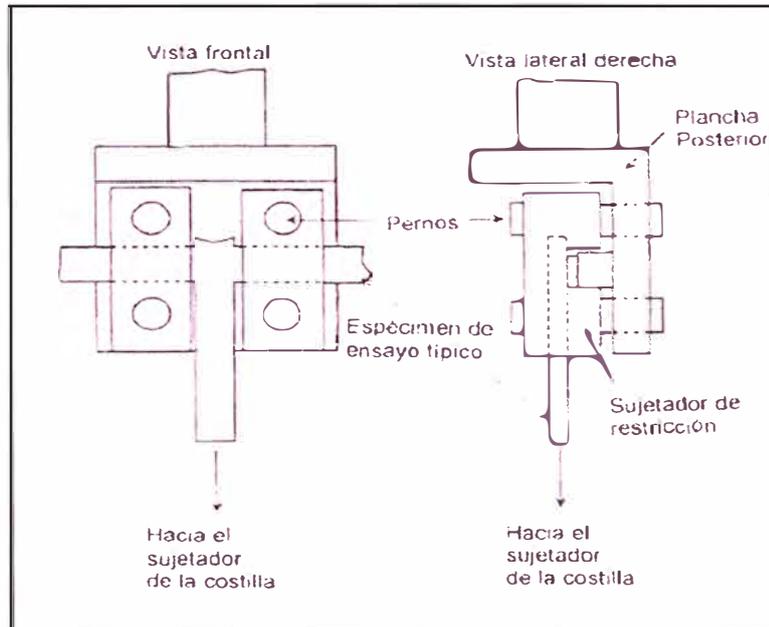


Figura 1.14 - Disposición del Ensayo para medir la resistencia de la unión en aislamiento

b) Resistencia a la tensión de muestra ancha

En este caso los especímenes de ensayo son más largos que los ensayos anteriores y a lo ancho, incluyen varias costillas. La resistencia resultante se da en valores de fuerza por unidad de ancho. Estos valores varían dependiendo del tipo de polímero, del espesor o número de fibras por costilla, del espaciamiento de las costillas, etc.

Los valores de resistencia de las Geomallas se ubican entre los de los Geotextiles convencionales y los Geotextiles de alta resistencia.

Existen 2 métodos de ensayos principalmente usados:

b.1 La Norma ASTM D 4595 aplicada a Geotextiles y modificada para Geomallas.

Las principales modificaciones requeridas son: el ancho del espécimen de ensayo, su longitud, sus mecanismos de anclaje, su tasa de deformación y el método para medir la deformación.

b.2 La Norma ISO 10319, en cuyo procedimiento, el ancho, el largo y el sistema de anclaje están especificados.

La información obtenida de estos ensayos comprende:

- La resistencia a la tensión de rotura (KN/m);
- La elongación a la rotura (%);
- La resistencia a la tensión a diferentes elongaciones antes de la rotura (por ejm. al 2, 5 ó 10 % en KN/m); y
- El módulo de tensión tomado de la porción inicial de la curva Resistencia vs Elongación u otro valor definido para el módulo (KN/m).

Estos ensayos son también realizados sin confinamiento de ningún suelo adyacente. Con una presión de suelo, la Geomalla podría mostrar un mejoramiento en sus características de resistencia.

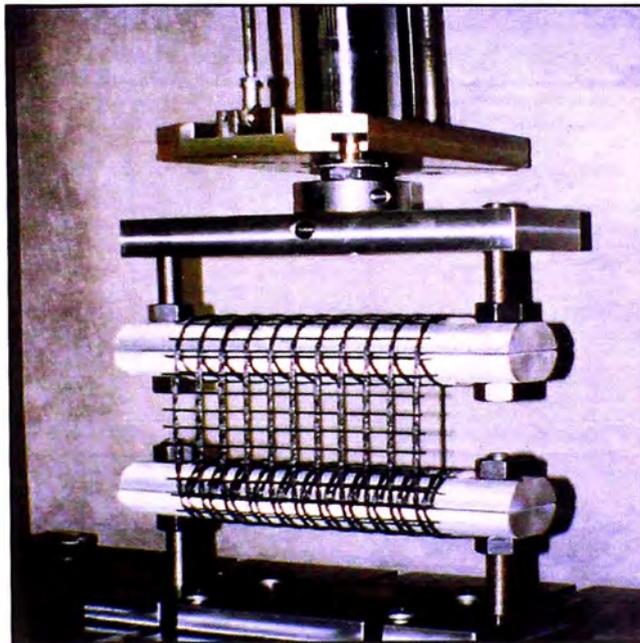


Figura 1.15 - Resistencia a la tensión de muestra ancha

c) Resistencia al Corte

Es un ensayo de comportamiento que se obtiene adaptando el ensayo de corte directo aplicado a los suelos.

La Geomalla es fijada a un bloque y forzada a deslizar sobre un suelo estacionario en una caja de corte, mientras es sometido a un esfuerzo normal. De este ensayo se puede obtener los parámetros de resistencia al corte de la Geomalla con el suelo utilizado:

C_a y δ Se encuentran dos juegos de valores; los valores pico y los valores residuales.

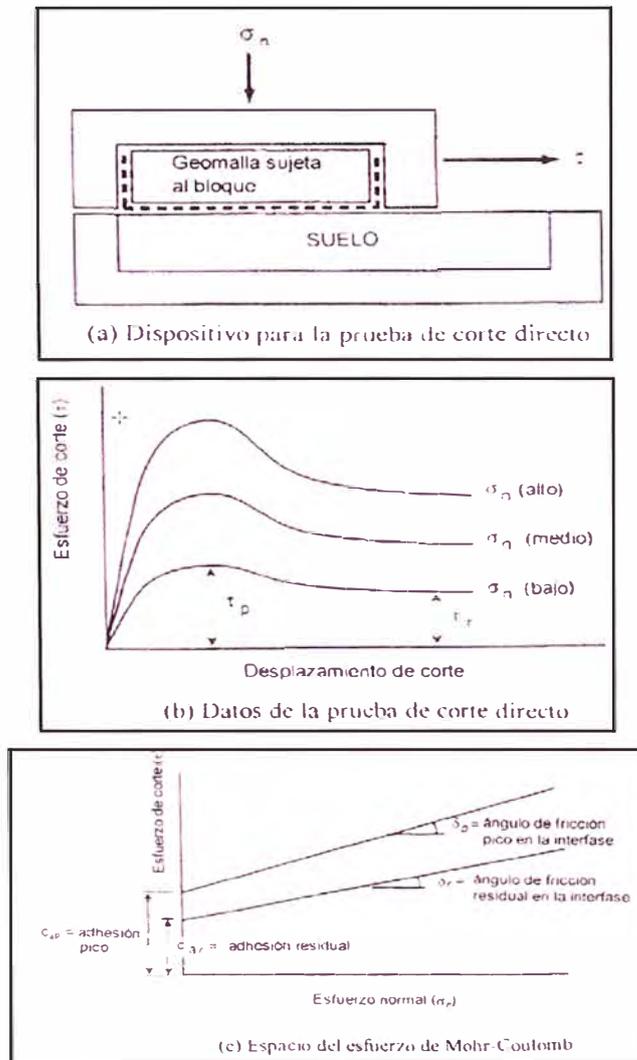


Figura 1.16 – Esfuerzo de corte en Geomallas

Si los parámetros de resistencia al corte del suelo (C y Φ) se relacionan con los parámetros antes encontrados, se puede calcular las eficiencias:

$$E_c = \left(\frac{c_a}{c} \right) \times 100$$
$$E_\phi = \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right) \times 100$$

- E_c = Eficiencia en cohesión.
 E_ϕ = Eficiencia en fricción.
 c_a = Adhesión del suelo a la Geomalla.
 c = Cohesión del suelo.
 δ = Angulo de resistencia cortante suelo – Geomalla.
 ϕ = Angulo de resistencia cortante del suelo.

La resistencia al corte de la mayoría de los suelos con partículas suficientemente pequeñas para caber dentro de las aberturas de las Geomallas, serán completamente movilizados.

Para una óptima transferencia de esfuerzo cortante, es decir, de las más altas eficiencias, es:

- $BGG > 3.5 d_{50}$, donde:
 BGG = abertura más pequeña de la Geomalla.
 d_{50} = partícula promedio del suelo de relleno.

1.4 MECANISMO DE REFUERZO GENERADOS POR LA GEOMALLA BIAxIAL

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

1.4.1 Confinamiento lateral de la base o subbase

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

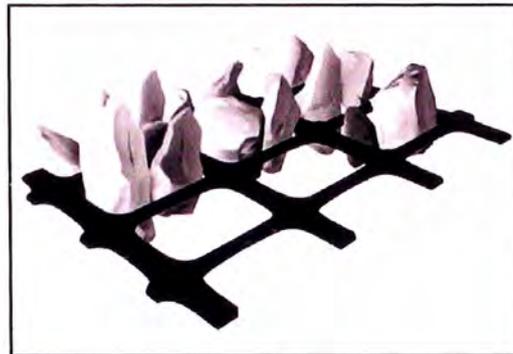


Figura 1.17 - Confinamiento Lateral generado por la Geomalla en un material granular

1.4.2 Mejoramiento de la capacidad portante

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

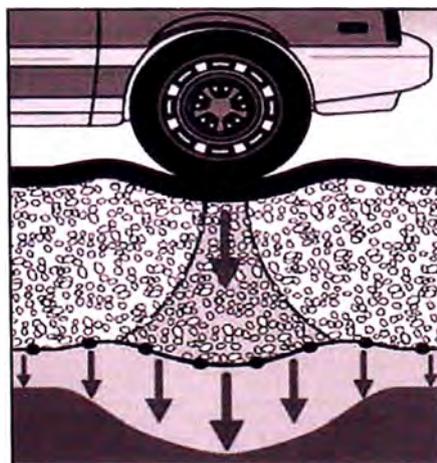


Figura 1.18 – Transmisión de carga a la capa granular

1.4.3 Membrana tensionada

Este efecto se origina en la propiedad por la cual un material flexible elongado, al adoptar una forma curva por efecto de la carga, el esfuerzo normal sobre su cara cóncava es mayor que el esfuerzo sobre la cara convexa, lo cual se traduce en que bajo la aplicación de carga el esfuerzo vertical transmitido por la Geomalla hacia la subrasante es menor que el esfuerzo vertical transmitido hacia la Geomalla. Sin embargo, este mecanismo solo ocurre a niveles de deformación demasiados altos como los que ocurren en vías sin pavimentar después de un número de repeticiones de carga elevado.

De acuerdo con lo anterior, el mecanismo de mayor importancia para las estructuras viales es el confinamiento lateral, mediante el cual se alcanzarían 3 beneficios principales:

Restricción del desplazamiento lateral de los agregados de la base o Subbase

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

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

Se espera un incremento en la rigidez de la capa granular cuando se desarrolla una adecuada interacción entre esta y la Geomalla. Un aumento en el módulo de la base resultaría también en menores deformaciones verticales dinámicas

recuperables de la superficie de la vía, implicando una reducción en la fatiga del pavimento.

Mejoramiento en la distribución de esfuerzos sobre la Subrasante.

En sistemas estratificados, cuando existe un material menos rígido por debajo de la base o subbase, un aumento en el módulo de la capa de base o subbase resulta una distribución de los esfuerzos verticales mas amplia sobre el suelo de fundación.

1.5 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA GEOMALLA BIAxIAL

Las Geomallas pueden ser flexibles si son fabricados con hilos de poliéster, nylon o fibra de vidrio de alta tenacidad (PET), u homogéneos (HDPE) de alta densidad si son fabricados con polietileno y polipropileno.

Como requisitos básicos de aceptabilidad, los materiales cumplirán las siguientes condiciones:

- La Geomalla consiste de una red regular de elementos tensiles conectados integralmente, con una geometría de apertura suficiente para permitir una traba mecánica importante con el suelo que lo rodea, el agregado u otro material. La Geomalla se utiliza para introducir refuerzo en los suelos y podrá ser fabricada de polietileno de alta densidad (HDPE) de acuerdo con la ASTM D1238 o con poliéster de alta densidad (PET) de acuerdo al GRI: GG7 y GG8.
- La Geomalla para refuerzo en terraplén y estructura granular de pavimento, deberá proporcionar las siguientes propiedades mínimas admisibles.

Cuadro 1.1 – Resistencia a la tensión

PROPIEDAD	MÉTODO EXIGIDO	TIPO DE GEOMALLA (P6)
Resistencia a la tensión	FHWA/SA-96-071	
Ta, lb/pie (Kn/m) –MD		3.800 lbs/pie (5.65 KN/m)
Ta, lb/pie (Kn/m) –CMD		400 lbs/pie (0.60 KN/m)

En donde $T_a = T_{ulf}/RF$; $RF = RF_{CR} \times RF_D \times RF_{ID}$

Turf: Resistencia a la tensión última, deberá ser el valor promedio mínimo de la resistencia a la tensión última del rollo (MARV) ensayado de acuerdo con la ASTM D4595. (Método de la tira ancha, modificada para geomallas).

RF_{CR}: Factor de reducción por CREEP durante la vida útil de la estructura, deberá ser determinada de acuerdo con la FHWA SA-96-071, apéndice B, con resultados extrapolados a 75 años de vida de diseño, o de acuerdo con la ASTM 5262 (o su equivalente GRI = GG3) para un mínimo de ensayo de resistencia al CREEP de 10.000 horas.

La prueba a corto plazo (1.000 horas) es insuficiente por si misma en ausencia de resultados de estas pruebas, el valor por defecto de RF_{CR} será de 5.0 para la HDPE y de 2.5 para la PET.

RF_{ID}: El factor de reducción por daños durante la instalación deberá ser determinado a partir de pruebas de daños ocasionados por la construcción. En el caso específico de esta propuesta para construcción de terraplén y capas granulares con materiales angulosos con Tam. Máx 1½". El ensayo se realizará de acuerdo con la ASTM D5818.

RF_D: Factor de Reducción por durabilidad, correspondiente a un factor parcial combinado para la degradación biológica y química. El mínimo valor de RF_D debe ser:

Para:

Geomalla HDPE	1.1
Geomalla PET (que cumple requerimiento de recubrimiento)	1.1
Geomalla PET (que no cumple requerimiento de recubrimiento)	1.6

- Para todos los tipos de geomalla el porcentaje de área abierta deber ser \geq de 50% y \leq 80%, de acuerdo con la exigencia del cuerpo de Ing. de EU, COE CW 2215.
- Las geomallas tendrán una resistencia mínima de unión (resistencia en las juntas) de 40 llbs (18.1 KN) de acuerdo con GRI: GG2. Si este criterio no se cumple entonces la geomalla deberá tener una masa mínima de 8 onzas/yd² (0.30 KN/m²).
- Las geomallas deben tener una rigidez flexional de 30.000 mg-cm de acuerdo con ASTM D1388.
- Las geomallas de poliéster de alta tenacidad (PET) deberán estar cubiertas con una capa inalterable apropiada ligada al paquete de las fibras de alta tenacidad. La cobertura deberá contener un mínimo de 1% de carbón, medido de acuerdo con la ASTM 4218.
- La geomalla PET deberá contar con un peso molecular (Mn) \geq 25.000 g/mol, medido de acuerdo con GRI: GG8 y un grupo final carboxilo (CEG) \leq 30, de acuerdo con GRI: GG7.
- Para las geomallas PET que no se ajusten a este criterio se deberán utilizar un factor de reducción mínimo de RFD = 2.0.
- Las geomallas de alta densidad (HDPE) deberán contar con un valor de índice de flujo a la fusión del polietileno \geq 0.88, de acuerdo con ASTM D1238.

CAPÍTULO II: MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE

2.1 Refuerzo de Vías Afirmadas

Generalidades

Las subrasantes de poca resistencia o de poca capacidad portante son problemas comunes en la construcción de pavimentos.

La existencia de una falla en la Subrasante sobre la que este cimentada el pavimento llevara a un deterioro rápido de la estructura del mismo.

Tradicionalmente, “Las subrasantes” de baja capacidad portante o resistencia han sido retiradas y reemplazadas por rellenos de sustitución (mezclas de materiales de cantera o materiales propios de buena calidad), o estabilizadas químicamente (con cemento, cal, o producto químico de venta en el mercado para estos fines). Estas opciones son caras y demanda mucho más tiempo, especialmente si se comparan con la solución de Geomallas.

Las Geomallas mejoran el rendimiento de la Subrasante existente, distribuyendo las cargas sobre una superficie mayor, reduciendo la oscilación y el punzonamiento y maximizando a la vez la capacidad de carga de la Subrasante.

Antecedentes

Se ha realizado estudios para el mejoramiento de la 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 o Vías afirmadas y plataformas de trabajo de relleno granular.

Giroud y Noiray (1981) desarrollaron el primero de estos métodos clásicos y Tensar Corporation (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.

- Control de calidad de la fabricación del producto. Este control tiene como objeto verificar la calidad de la geomalla suministrada al proyecto para que sea representativa de la geomalla utilizada en la realización de los ensayos antes descritos. El fabricante de la geomalla deberá contar con un programa de control de calidad de producción que incluya ensayos de control de calidad (QC) de por lo menos 400.000 pies (122.000 m) de producción. Todos los ensayos de calidad deben ser realizados en laboratorios certificados. Las pruebas deben incluir como mínimo un ensayo a la tensión realizado de acuerdo con la ASTM D4595.

Nota: Los ensayos para el control de la fabricación del producto se realizan en el extranjero.

Cuadro 1.2 – Geomalla Biaxial - Características

PROPIEDAD	METODO DE ENSAYO	UNIDAD	VALOR	
			TIPO 1	TIPO 2
TAMAÑO DE ABERTURA: MD (Sentido Máquina) XD (Sentido Contrario Máquina)	ASTM D 4751	Pulg	1.0 nom	1.0 nom
		Pulg	1.3 nom	1.3 nom
ESPESOR: COSTILLA JUNTA	ASTM D 1777-(64) ASTM D 1777-(64)	Pulg Pulg	0.03 nom 0.11 nom	0.05 nom 0.16 nom
MODULO INICIAL REAL EN USO: MD XD	GR1-GG1-87 GR1-GG1-87	kN/m(lb-ft)	226.4(15,170) 360.1(24,685)	481.2(32,980) 652.5(44,725)
CAPACIDAD A LA TENSION AL 2% DE ELONGACION MD XD	GR1-GG1-87 GR1-GG1-87	kN m(lb-ft)	4.09(280) 6.57(450)	5.98(410) 9.78(670)
CAPACIDAD A LA TENSION AL 5% DE ELONGACION MD XD	GR1-GG1-87 GR1-GG1-87	kN/m(lb-ft)	8.46(580) 13.42(920)	11.82(810) 19.55(1,340)
CAPACIDAD DE LAS JUNTAS MD XD	GR1-GG1-87 GR1-GG1-87	kN m(lb-ft)	11.2(765) 17.1(1,170)	17.2(1,180) 25.9(1,775)
RIGIDEZ FLEXURAL	ASTM D 1388-96 OPCION A	Mtg/cm	250,000	750,000
RIGIDEZ TORSIONAL	U'S COE PRELIMINAR	kg-cm/deg	3.2	0.5
RESISTENCIA A LA DEGRADACION A LARGO PLAZO	EPA 900 INMERSION	%	100	100

El Método de Giroud y Noiray (G&N)

Este Método 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.

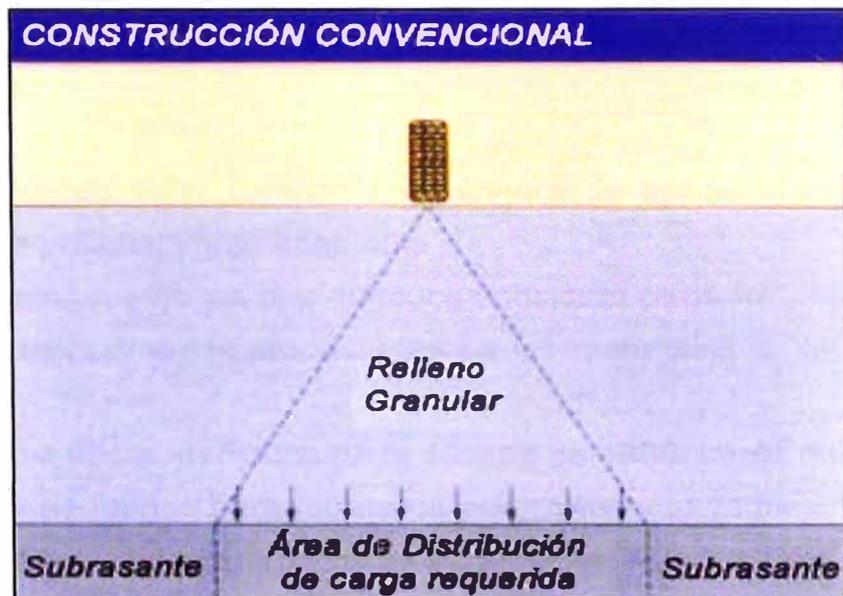


Fig. 2.1 Distribución de esfuerzos sobre la subrasante

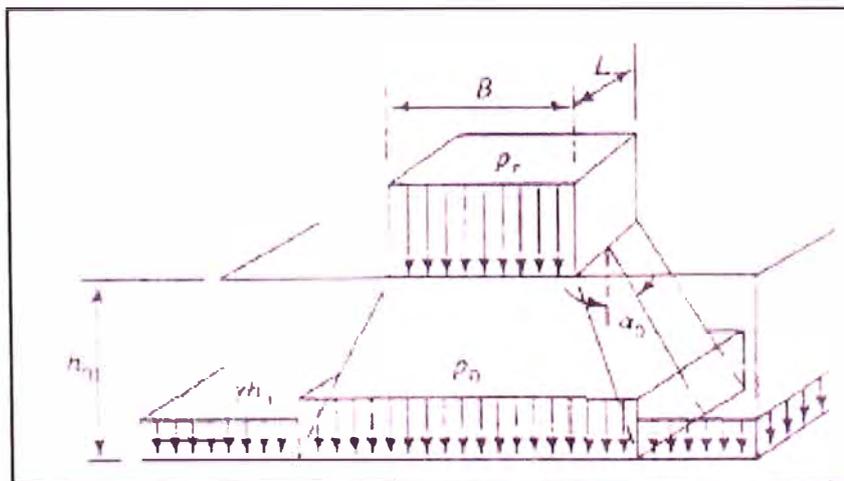


Fig. 2.2 Distribución piramidal de la carga

El Método Tensar

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 refuerzo 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 poca data de investigación y de campo para facilitar la calibración y la verificación de modelos más complejos que incorporaran 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 suficiente data 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.

2.2 Alternativas de mejoramiento de Subrasante

El mejoramiento consistirá en el tratamiento de la capa superior de la subrasante, mediante escarificación y compactación o mezclando el material en sitio con materiales granulares, cal, cemento o estabilizadores de suelo electroquímicos. Los materiales deberán mezclarse, esparcirse, compactarse y

curarse de acuerdo con estas especificaciones y en conformidad razonablemente cercana con las alineaciones, rasantes y dimensiones mostradas en los planos o establecidas por el ingeniero.

La capa terminada de subrasante mejorada deberá ser una mezcla con densidad y contenido de humedad uniformes, y con una superficie apropiada para colocar la siguiente capa del pavimento.

Entonces entre las principales alternativas para el mejoramiento de subrasante tenemos:

Mejoramiento por escarificación y compactación: Una vez preparada la superficie y a la profundidad especificada en el plano, el material de la subrasante deberá ser aireado o humedecido hasta alcanzar la humedad óptima $\pm 2\%$, y enseguida compactado conforme a lo especificado en las Especificaciones Técnicas.

Mejoramiento con materiales granulares: Una vez preparada la superficie, el material así preparado se le adicionará material granular con las características y en las proporciones indicadas en el plano. Se deberá proceder a su mezclado y compactación escarificando 15 cm por debajo del nivel de subrasante.

Mejoramiento con cal hidratada o cemento pórtland: El mejoramiento con cal hidratada o cemento Pórtland se realiza una vez preparada la superficie y a la profundidad especificada en el plano, toda la cal o cemento se mezcla por completo con el suelo el mismo día que se realizan las operaciones de esparcido. Durante el intervalo de tiempo entre la aplicación y el mezclado, la cal hidratada que se haya expuesto al aire por un período mayor de seis horas, o el cemento Pórtland por más de una hora, o tenga, en ambos casos, una excesiva pérdida debido a desperdicio o al viento.

La aplicación y mezclado de la cal o el cemento y el agua, con el material de la subrasante deberá realizarse de la siguiente forma:

a) Colocación en seco: la cal o el cemento deberán distribuirse en forma uniforme, con un esparcidor, procurando evitar pérdidas por la acción del viento. El cemento o la cal se aplican cuando las condiciones del viento sean tales que

no se produzca exceso de pérdida y el agua hasta que se asegure el contenido de humedad apropiado.

b) Colocación de lechada: la cal o cemento se mezclan uniformemente con agua y aplicándose como una suspensión fina o lechada, utilizando camiones con dispositivos mezcladores rotatorios, u otro equipo, deberá realizarse mediante pasadas sucesivas sobre una sección de carretera hasta que se alcance el contenido apropiado de humedad y de cemento o cal. El camión distribuidor o el tanque mezclador rotatorio deberá estar equipado con un agitador que mantendrá el cemento o la cal y el agua mezclados uniformemente.



Figura 2.3 Estabilización con cemento

Compactación y acabado: Después del mezclado final, la mezcla del material de subrasante con el cemento o la cal se esparce y compacta. El material es aireado o humedecido según sea necesario para mantener la humedad óptima, y se compacta hasta por lo menos el 95 por ciento de la densidad máxima seca obtenida con el ensayo AASHTO T-99.

Curado: La sección terminada se mantiene húmeda por un mínimo de siete días antes de colocarse la subbase, base o superficie de desgaste. Cuando se especifique como un procedimiento alternativo, de curado, después de 24 horas de mantenerse húmeda la subrasante mejorada con cemento o cal, una cubierta sellante bituminosa utilizando asfalto emulsionado, se rosea en una proporción aproximada de 0,8 a 1,4 litros por metro cuadrado.

El proceso constructivo mencionado es altamente efectivo, pero con implicaciones en mayor tiempo de ejecución y mayores costos, ya que se tiene que considerar la cantidad de cal a adicional, mayor cantidad de peones para su colocación, y que representa, por su similitud, un trabajo igual que el reacondicionamiento de la subrasante, pero más lento. Adicionalmente, la capa de subrasante estabilizada con cal debe quedar cubierta por la capa de Base, y esta es una capa de base estabilizada con cemento, lo cual influye considerablemente en el proceso constructivo y en el tiempo de ejecución.

Mejoramiento de la subrasante usando estabilizadores electroquímicos:

Cuando la subrasante está constituida por arcillas expansivas, estas se pueden estabilizar usando estabilizadores de suelos electroquímicos. Cuando se use este tipo de mejoramiento, la profundidad del mejoramiento y porcentaje de hinchamiento final del material de la subrasante después de realizada la estabilización se someten a ensayos ASTM D-4546.

2.3 Mejoramiento de subrasante aplicando Geomalla en el Perú

Carretera Iquitos – Nauta

La carretera Iquitos Nauta ha sido una vieja aspiración del pueblo Loretano. Una vía que permite el acceso a Iquitos, el ingreso de vehículos de carga y pasajeros y que convirtiera a dos horas un trayecto que se hacía en ocho por el río, disminuyendo los mayores costos generados por el movimiento comercial sin las adecuadas vías de comunicación. Muchas técnicas convencionales y no convencionales se han ensayado en esta carretera para llevarla a término bajo las condiciones de suelos y lluvias que son por todos conocidas en nuestra selva inundable. El Gobierno Regional de Loreto, a fin de fortalecer el desarrollo socio-económico de la región, mejorar la calidad de vida de su población y fomentar el turismo, decidió concluir la carretera Iquitos - Nauta, a cuya longitud final aproximada de 97 Km, le faltaban los últimos 19 kilómetros, los mismos que constituían el **tramo IV entre Nauta y Puente Itaya**.

Para el mejoramiento de la subrasante se usó la Geomalla biaxial Tensar BX1100, la cual sería usada cuando la situación de la subrasante o el suelo de fundación en el momento de la construcción lo ameritasen; por ello su metrado fue variable y dependió de la existencia de sectores denominados críticos. El mejoramiento de la subrasante se basa totalmente en el concepto de distribución de carga, es decir, la malla distribuye la carga en una mayor área; de esta manera contribuye a que la presión sobre la subrasante disminuya.

La rapidez en el proceso constructivo y la posibilidad de compactar materiales sobre subrasantes blandas, hace esta solución técnica y económicamente más atractiva que la de sobre-excavación y reemplazo.

Durante el desarrollo de la obra se observó lo previsible, a nivel de subrasante: suelos con una humedad natural por encima de la óptima, pérdida de sus características mecánicas por continuo remoldeado, humedad cercana al límite líquido; en estos casos, fue necesario colocar una Geomalla para lograr una plataforma de trabajo. Para dicha aplicación se obtuvieron los valores de CBR "in-situ" a partir de ensayos de penetración dinámica de cono (PDC), empleando correlaciones acordes con el tipo de suelo.

Considerando la lejanía de las fuentes de agregado pétreo (de 100 a 150 Km.), resultó crucial la reducción de los espesores del pavimento, gracias al aporte de la Geomalla. Por un lado se disminuyeron los tiempos de construcción y, por otro, el ahorro en agregado fue importante. Dichas reducciones de base y carpeta han producido un ahorro que se calcula conservadoramente en \$1'000,000.00. Por otro lado, las deflexiones medidas son menores y los radios de curvatura, mayores a los esperados al culminar la obra, lo cual refleja sencillamente un predecible incremento en la vida útil del pavimento.

En relación con la Geomalla que se colocó como refuerzo de base, se comprobó en campo que su presencia incrementa la rigidez de la base gracias al confinamiento lateral. El esfuerzo cortante es transmitido por el agregado a la Geomalla, lo cual genera que ésta entre en tensión; la rigidez de la Geomalla, asegurada por la estabilidad de las aberturas, retarda la deformación por tensión del material adyacente; la menor deformación lateral se traduce en una menor

deflexión de la superficie y un aumento del radio de curvatura, aumentando la resistencia a la fatiga de la carpeta asfáltica y la vida útil. El incremento del módulo de la base granular sobre la Geomalla es del orden del 33%.



Figura 2.4 Mejoramiento de Subrasante aplicando Geomalla
Carretera Iquitos – Nauta, 2004, Tramo IV: entre Nauta y Puente Itaya.



Figura 2.5 Mejoramiento de Subrasante aplicando Geomalla
Carretera Iquitos – Nauta, 2004

Otras obras en las que se usaron Geomallas :

- ❖ Interoceánica Sur - Ccatca Km. 42+200, 2006, Geomalla Biaxial BX1100 (Mejoramiento de subrasante).
- ❖ Carretera Cajamarca-Yanacocha, 2003, Geomalla Biaxial BX1100 (Mejoramiento de subrasante).
- ❖ Carretera Tarapoto – Yurimaguas, 2005 (Provias Nacional), Geomalla Biaxial BX1200 (Mejoramiento de subrasante).
- ❖ Almacenes RANSA, 2004, Geomalla Biaxial BX1100 (Mejoramiento de subrasante).
- ❖ Almacenes NEPTUNIA, 2004, Geomalla Biaxial BX1100 (Mejoramiento de subrasante).
- ❖ Vías de Acarreo, Mina Pierina, 2006, Geomalla Biaxial BX1100 (Mejoramiento de subrasante).

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL REFUERZO DE LA SUBRASANTE

3.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO

A lo largo de las dos últimas décadas, el uso de Geomallas en las aplicaciones para mejorar subrasantes se ha difundido ampliamente, han sido estudiados por 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 permitió a los doctores Giroud y Han desarrollar y verificar 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 (Gabr, 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 BX1100 y BX1200. 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 continuas. Tras la calibración, se verificó el método utilizando los resultados de otros datos de investigación y de campo.

Aplicabilidad del Método Giroud-Han

En teoría, el método Giroud-Han se puede usar con todos los materiales geosintéticos 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 método. No obstante, hay que aplicar una medida de cautela a los resultados obtenidos mediante la aplicación del método a las Geomallas cuyas propiedades tienen valores que están fuera de los límites de calibración.

La Geomalla debe tener la capacidad de distribuir cargas eficazmente sobre la subrasante (de manera amplia y pareja), esto entraña una interacción compleja de Geomalla, suelo y base.

3.2 MÉTODO DE DISEÑO PARA VIAS AFIRMADAS REFORZADAS CON GEOMALLAS DESARROLLADAS POR 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 Giroud & Noiray.

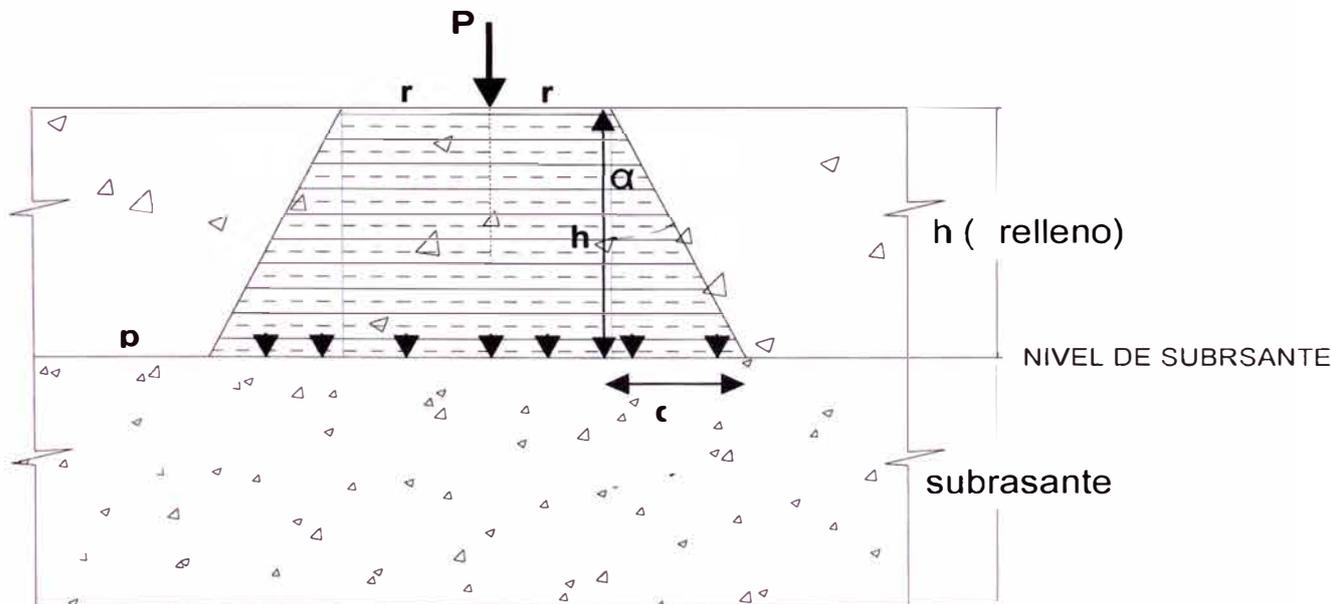


Fig. 3.1- Distribución de esfuerzos en forma de cono

$q = m.Cu.Nc$: Capacidad de carga de la subrasante

De la figura 3.1 $d = h.Tang(\alpha)$

Calculo de la presión “p” en el nivel de subrasante

Si la presión se calcula como:

$$p = \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

Donde: F= Fuerza, A= Área

Entonces de la figura 3.1:

$$F = P$$

$$A = \pi(r + h \cdot \tan(\alpha))^2$$

Reemplazando en la ecuacion (3.1)

$$p = \frac{P}{\pi(r + h \tan \alpha)^2} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

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, es

$$h = \frac{1}{\tan \alpha} \left(\sqrt{\frac{P}{\pi m c_u N_c}} - r \right) \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

Donde:

- C_u = esfuerzo de corte no drenado de la subrasante.
- N_c = factor de capacidad de carga de la subrasante
- m = coeficiente de movilización de la capacidad de carga.

VALORES DE “Nc”

Nc = 3.3 para capas base no reforzadas,

Nc = 5.14 para las capas base reforzadas con productos geotextiles

Nc = 5.71 para capas base reforzadas con Geomallas Tensar.

La selección de los valores de Nc se basa en la teoría clásica de la capacidad de carga para cimientos superficiales que sugiere que:

Nc = 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).

Nc = 5.14 Para un fallo de capacidad de carga general, donde hay una interfaz lisa (Geotextil) entre el apoyo de la cimentación y el suelo.

Nc = 5.71 Para una falla de capacidad de carga general donde hay una interfaz áspera (Geomalla Tensar) 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.

VALORES DE “m”

m = 1.0 Para bases de agregado relativamente delgadas con una profundidad de ahuellamiento de 3 pulgadas.

m < 1.0 Para bases de agregado gruesas y/o profundidades de ahuellamiento menores de 3 pulgadas. Se calibra la función utilizando datos de pruebas.

ANGULO DE DISTRIBUCION DE ESFUERZOS “α”

El ángulo de distribución de esfuerzos es mayor a través de una capa base de al resistencia que a través de un material de menor resistencia.

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.

$$\tan \alpha_1 = \tan \alpha_0 \left[1 + 0.204 \left(\frac{E_{bc}}{E_{sg}} - 1 \right) \right] = \tan \alpha_0 \left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{sg}} - 1 \right) \right] \quad ..(3.4)$$

Donde:

- Ebc y Esg = módulo de la capa base y la Subrasante, respectivamente.
- CBRbc y CBRsg = 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:

$$\tan \alpha = \frac{\tan \alpha_1}{1 + k \log N} \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

Donde:

- N = Es el número de pasadas de ejes de vehículos en la etapa de construcción del mejoramiento de la subrasante.
- 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:

$$h = \frac{1.195 + (0.910 + 0.019J - 1.744J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log .V}{\left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{sg}} - 1\right)\right]} \sqrt{\frac{P}{13.7N_c \left(\frac{s}{3}\right) \left[1 - 0.9 \exp\left(-1.426 \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5}\right)\right] CBR_{sg}}} \quad ..(3.6)$$

Donde:

- S = Es igual a profundidad de ahuellamiento en pulgadas a nivel del relleno granular.
- P = Carga transmitido por neumatico en libras.
- h = Espesor del relleno granular en pulgadas.
- r = Radio de la huella de una rueda de vehiculo en pulgadas.
- N = Es el numero de pasadas de ejes de vehiculos en la etapa de Construcción del mejoramiento de la subrasante.
- Nc = 3.3 y J =0 para la capa base no reforzada.
- Nc = 5.14 y J = 0 para la capa base con refuerzo Geotextil.
- Nc = 5.71 y J = 0.32 m-N/grado para la capa base reforzada con Tensar BX1100.
- Nc = 5.71 y J = 0.65 m-N/grado para la capa base reforzada con Tensar BX1200.

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 módulo a un valor máximo de 5.0 para dar cuenta de la dificultad para compactar el material de la capa base eficazmente sobre subrasantes muy blandas. Esto da el término

$$\frac{3.48 * (CBR_{br})^{0.3}}{CBR_{sg}} \leq 5.0$$

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 base.

Actualmente los autores están evaluando este fenómeno para determinar si se puede aumentar el límite de la relación del módulo en el caso del refuerzo con Geomallas.

3.3 CÁLCULO DEL REFUERZO DE LA SUBRASANTE

Aplicando la ecuación (3.6) de Giroud- Han.

$$h = \frac{1.195 + (0.910 + 0.019 J - 1.744 J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{\left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{zg}} - 1\right)\right]} \left[\frac{P}{\sqrt{13.7 N_c \left(\frac{s}{3}\right) \left[1 - 0.9 \exp\left(-1.426 \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5}\right)\right] CBR_{zg}}} - i \right]$$

h: espesor de relleno requerido

PARÁMETROS DE DISEÑO

Para el siguiente cálculo se usara la geomalla marca TENSAR BX 1100

- P : Carga transmitido por neumático
- p : Presión de inflado de las gomas (ruedas simples o duales)
- N : Número de pasadas por eje
- S : Máximo ahuellamiento
- J : El módulo de estabilidad de la apertura.
- CBRrell : CBR Relleno
- CBRsub: CBR Subrasante

DATOS DE ENTRADA

- P : 3.5 Tn. (Vehiculo de diseño considerado de 7.0 Tn. (2P) por cada eje simple, cuyo valor se obtuvo del Proyecto del Reglamento Nacional de vehículos - Anexo IV - Pesos y Medidas, Tipo C2.
- p : 80 psi (presión de inflado del neumático).
- N : 500 (numero de pasadas por eje en la etapa de construcción)
- S : 3" (Ahuellamiento en la etapa de construcción se ha tomado este como dato porque el suelo de fundación es muy blando lo que podría generar deformaciones profundas, este es un valor máximo para el ahuellamiento de acuerdo con la Teoría de Giroud Han)
- J : 0.32 m-N/grado para la capa base reforzada con Tensar BX1100, Nc = 5.71.
- CBRrell : 40 % (Dato obtenido de la muestra del afirmado ensayado en el Laboratorio Nacional de Hidraulica)
- CBRsub: 0.5 % (Dato obtenido de la muestra del terreno de fundacion (subrasante degradado ensayado en el Laboratorio Nacional de Hidraulica)

PARÁMETROS A CALCULAR

$$r = \frac{(P)^0.5}{3.1416 * p} \dots\dots\dots (3.7)$$

P = 3.5 toneladas (7868 lbs), Carga de camiones de transporte

Entonces

$$r = 5.60 \text{ " } = 14.16 \text{ cm}$$

De la Ecuación de Giroud Han iterando

$$h = \frac{1.195 + (0.910 + 0.019J - 1.744J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{\left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{sg}} - 1\right)\right]} \sqrt{\frac{P}{13.7N_c \left(\frac{s}{3}\right) \left[1 - 0.9 \exp\left(-1.42 \left(\frac{J}{s}\right)^{1.5}\right)\right] CBR_{sg}}}$$

Para calcular el espesor del relleno “h”, se debe iterar la ecuación mostrada, para lo cual se ha desarrollado un programa en Excel que permite iterar.

CUADRO 3.1 PROCESO DE DISEÑO

Giroud - Han

VALOR ENTREGADO

Inicio de proceso iterativo, definición de “h”:

INGRESAR VALOR

h m

Datos Iniciales:

Carga Axial (2P) KN

Presion de llanta (Tp) Kpa

CBRbc %

CBRsg %

$$r = \sqrt{\frac{P}{3.14 \times Tp}}$$

r = m. (Radio de contacto)

N (Pases de ejes) veces

s (ahuellamiento) mm

Tipo de refuerzo:

Nc

J m- N/grado

Valor Ebc/Esg Valor a usar en el cálculo

Giroud-Han sugiere limitar esta relación del módulo a un valor máximo de 5.0 para dar cuenta de la incapacidad para compactar el material de la base eficazmente sobre subrasantes muy blandas

h= (Espesor final calculado)

Usando el programa en Excel de cálculo Iterativo

$$\begin{array}{l} h = 1.84\text{m} \quad \Rightarrow \quad h = 0.709 \text{ m} \\ h = 0.709\text{m} \quad \Rightarrow \quad h = 0.686 \text{ m} \\ h = 0.686\text{m} \quad \Rightarrow \quad h = 0.456 \text{ m} \\ h = 0.456\text{m} \quad \Rightarrow \quad h = 0.456 \text{ m} \end{array}$$

El resultado del calculo del espesor del relleno es $h = 0.456\text{m}$

Par fines prácticos de construcción usaremos

$h = 0.50 \text{ m}$

Altura de relleno para mejorar la subrasante

3.4 Uso de Software que incorpora el Metodo de Giroud - Han

El software SpectraPave2

El Dr. J.P. Giroud y el Dr. Jie Han recientemente desarrollaron una nueva tecnología para diseñar mejoras de subrasantes. Su metodología representa el avance más completo en el diseño de vías afirmadas de los últimos 20 años.

Tensor Earth Technologies ha llevado esta tecnología un paso mas allá al crear el software SpectraPave2. Esta mejora ha abierto el camino con adelantos importantes en comparación con los otros programas disponibles. Comprende:

Módulo de mejora de subrasantes

El modulo de mejora de subrasantes, basado en el estudio de los Dres. J.P. Giroud y Jie Han, incorpora la nueva Tecnología de Diseño Giroud-Han basada en el rendimiento, que soporta el uso de ciertos geosinteticos para reducir los requisitos en áridos y mejorar el rendimiento de las subrasantes. Indica el espesor requerido para los rellenos de áridos no reforzados, así como los rellenos de áridos reforzados con Geomallas BX(Tensar)

El cálculo desarrollado con este programa se adjunta en el Anexo 2- Calculo del Mejoramiento de Subrasante.

CONCLUSIONES

1. Para casos de mejoramiento de subrasante el Geosintético mas conveniente es la Geomalla, obteniendo buenos resultados, economizando en material de relleno mano de obra y tiempo.
2. El uso de la Geomalla para mejoramiento de subrasante ya no resulta factible cuando el CBR de la subrasante es mayor al 4% porque el espesor del relleno se mantiene constante a 4.0”.
3. En definitiva, 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 aún en suelos extremadamente blandos.

La distribución de la carga se realiza sobre un área mayor lográndose con la Geomalla las siguientes ventajas:

- ✓ Simplificar la construcción
 - ✓ Reducir el requerimiento de materiales
 - ✓ Aumentar la durabilidad.
4. Las Geomallas permiten colocar directamente sobre la superficie de terreno blando y refuerzan al mismo de manera tal de permitir la instalación de la plataforma de trabajo sin inconvenientes, en mucho menor tiempo, sin necesidad de excavaciones y/o rellenos extras y con la consiguiente reducción de costos.
 5. La Geomalla comparada con el Geotextil sirve también para incrementar la resistencia de un suelo, pero, a diferencia de la Geomalla, necesita que se produzca una deformación del mismo para producir dicho refuerzo.

Además, los esfuerzos que puede resistir un Geotextil son mucho menores a los que puede resistir una Geomalla .

6. Los dos métodos de diseño para determinar el espesor de la capa de relleno granular: Giroud y Noiray y Tensar Corporation, tienen un grado de cautela en la selección de los parámetros introducidos, llevando a un desempeño eficaz pero no produce el diseño más eficiente.

Sin embargo el Método Giroud-Han incorpora la resistencia y el módulo del material básico, variaciones de los ángulos de distribución de esfuerzos a través de la capa de apoyo y la propiedad del módulo de estabilidad de la abertura (rigidez) del refuerzo Geosintético, además de todos los parámetros adicionales considerados por el Método G&N.

En consecuencia, este método mejorado permite introducir parámetros más precisos para predecir mejor su comportamiento llevando a un uso más eficiente de los recursos de agregado, equipos de construcción, mano de obra y tiempo

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de la Geomalla Biaxial en el reforzamiento de base granular, generando un aumento en la vida útil del pavimento debido a su distribución de carga por trabazón de partículas sobre la capa inferior.
2. Para el caso de mejoramiento de subrasante se recomienda usar cualquier relleno granular limpio. Los elementos claves para la estabilidad sobre subrasantes relativamente competentes $CBR > 2$ son la gradación y el contenido de humedad de los rellenos de áridos.
3. En general, para asegurar un buen comportamiento, las Geomallas a utilizar deberán consistir en mallas de estructura regular biaxial, con aberturas geométricas rectangulares (costillas y uniones de cruce) suficientes como para permitir un intertrabado mecánico significativo con el material que será reforzado.
4. Por otro lado, la Geomalla deberá mantener la capacidad de refuerzo y trabazón bajo cargas dinámicas repetidas durante su puesta en servicio y también deberá ser resistente a la degradación producida por los rayos ultravioletas, al daño durante las prácticas normales de construcción y a toda forma de degradación biológica o química que normalmente pueden encontrarse en el material que será reforzado. Las Geomallas pueden almacenarse descubiertas durante 06 meses en exposición directa a la luz solar sin que pierda ninguna propiedad estructural, colocándose en forma vertical o en su defecto en forma horizontal.
5. Así mismo es recomendable en vías de baja capacidad portante y donde el material de afirmado sea escasa como por ejemplo en la selva donde realmente es apreciable la reducción del costo de ejecución de las obras de pavimentación.

BIBLIOGRAFIA

- KOERNER M., ROBERT Diseño con Geosintéticos, Cuarta Edición, IGS-PERU, 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
- www.tdm.com.pe
- www.tecexclusiva.com

ANEXOS

ANEXO 1

PANEL FOTOGRAFICO



Figura 4.1: Area de trabajo designado al Grupo N° 04,
Excavación de 1.20m de profundidad



Figura 4.2: Excavación del terreno



Figura 4.3: Personal zarandeando el material para ser usado como suelo de fundación.



Figura 4.4: colocación de material cernido en el terreno Impermeabilizado con plástico



Figura 4.5: Emplantillado espesor del suelo degradado 0.65m.



Figura 4.6: Nivelación del material degradado



Figura 4.7: Saturación del material cernido para obtener un CBR < 1%



Figura 4.8: Obtención de muestras para el laboratorio



Figura 4.9: Material sometido a compactación en gabinete y saturación al 100% para ensayarse con el DPL



Figura 4.10: Material para la conformación del relleno

ANEXO 2

**MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA
SPECTRA**

(MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE)



TENSAR EARTH TECHNOLOGIES, INC.
 www.tensarcorp.com
 1-800-TENSAR-1

MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE

, LIMA, Peru

Project Reference: GEOMALLAS

DESIGNER

CARLOS HUAMANI
 UNI
 LIMA, LIMA , Peru
 ATTN: S
 404-250-1290 (TEL)
 404-250-9185 (FAX)

CHUAMANI@EMAPE.GOB.PE

CLIENT

UNI

ATTN:
 (TEL)
 (FAX)

This document was prepared using SpectraPave2 (version 2.14)
 Developed by Tensar Earth Technologies, Inc.
 Copyright 1998 - 2004, All Rights Reserved.

Design Methodology

The aggregate fill thicknesses determined in the Results section below are based on the methodology prescribed in Giroud and Han (2004). The design method is intended for the calculation of the required unbound aggregate layer thickness for unpaved roads constructed on weak subgrades.

Validation of the thicknesses achieved for pavement sections reinforced with Tensar biaxial geogrids using this method were achieved through calibration with several sets of test data including the results obtained from work undertaken in the pavement test facility at North Carolina State University (Gabr, 2001).

Design Parameters

a) Trafficking Requirements

Property	Value
Axle load (kips)	16
Trafficking (ESAL's)	500
Tire Pressure (psi)	80
Maximum Rut Depth (in)	3

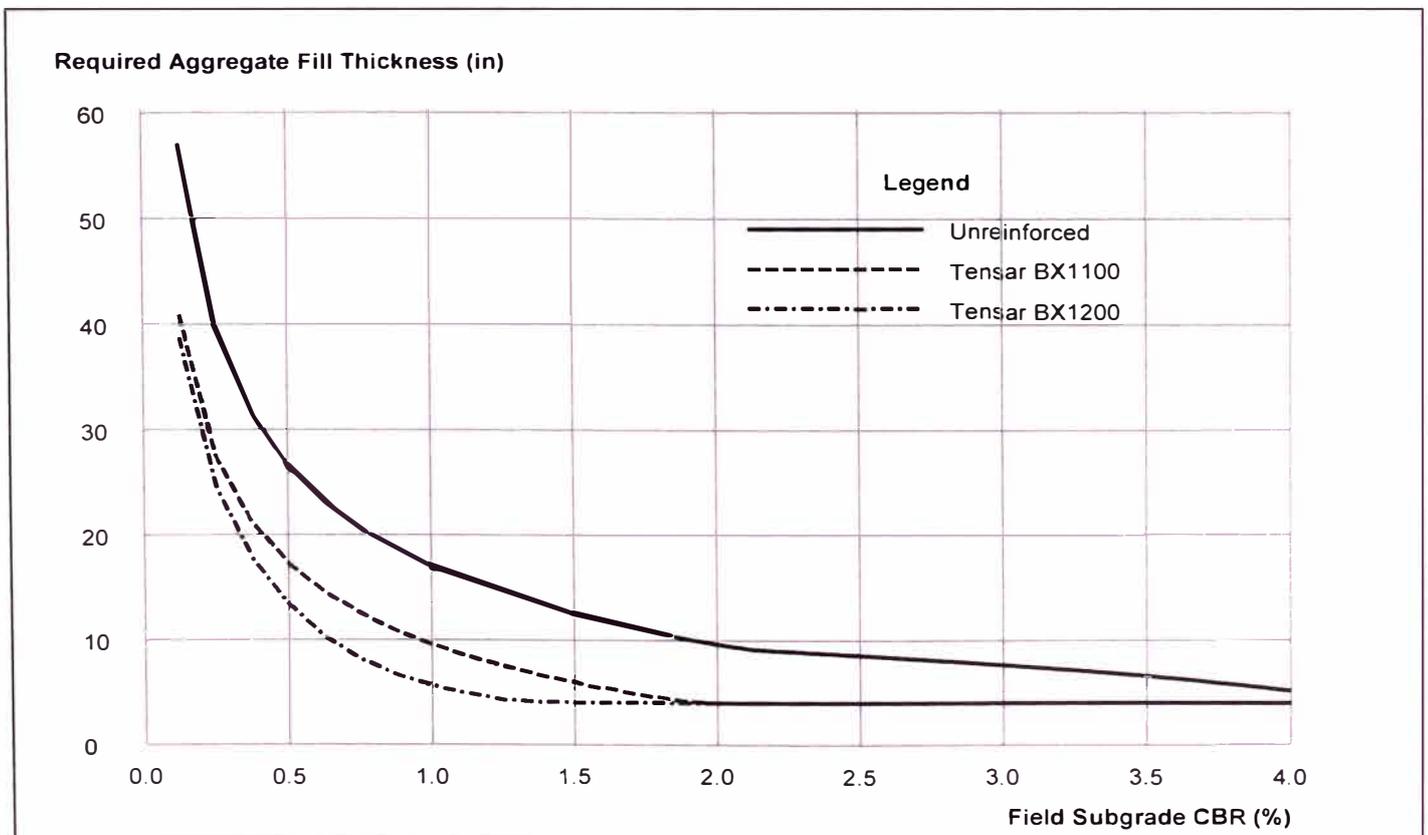
b) Pavement Soil Properties

Property	Value
Aggregate Fill CBR (%)	40
Subgrade CBR (%)	0.5

c) Geosynthetic Properties

Parameter	BX1100	BX1200
Geogrid type	Integrally formed, single layer	Integrally formed, single layer
Rib shape	Rectangular/square	Rectangular/square
Rib thickness (in)	0.03	0.05
Aperture stability modulus (m-N/degree)	0.32	0.65
Junction efficiency (%)	90	90
Aperture dimensions (in) - Machine direction - Cross machine	1.0 1.3	1.0 1.3
Thickness adjustment factor	1.0	1.0

Results



This document was prepared using SpectraPave2 (version 2.14)
 Developed by Tensar Earth Technologies, Inc.
 Copyright 1998 - 2004, All Rights Reserved.

Cost Savings

Geosynthetic	Required Aggregate Fill Thickness (in)	Thickness Savings (in)	Aggregate Savings (%)
Unreinforced	27	N/A	N/A
Tensar BX1100	18	9	33
Tensar BX1200	14	13	48

References

1. Gabr M. (2001)
Cyclic plate loading tests on geogrid reinforced roads.
Research report to Tensar Earth Technologies Inc., N.C. State University
2. Giroud J.P and Han J. (2004)
Design method for geogrid-reinforced unpaved roads:
Part 1 – Development of design method
ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering

Input Data

a) Project Size

Parameter	Value
Length (ft)	2500
Width (ft)	25
Area (SF)	62500

b) Aggregate Information

Parameter	Value
Delivered to site cost (\$/CY)	26.53
Aggregate installation cost (\$/CY)	5.00
Volume conversion factor	0.85
Total in place cost (\$/CY)	37.09

c) Top Surface Constraint

Parameter	Value
Fixed top grade above existing formation level (in)	0
Undercut and removal cost (\$/CY)	5.00
Cost of additional fill to bring pavement up to desired level (\$/CY)	15.00

d) Geosynthetic Information

Parameter	Tensar BX1100	Tensar BX1200
Material Cost (\$/SY)	2.00	3.00
Roll width (ft)	13.1	13.1

Installation Cost = \$0.25/SY

Overlap Length = 1ft

e) Aggregate Fill Thickness

	Unreinforced	Tensar BX1100	Tensar BX1200
Required fill thickness (in)	22	14	9

Results

Legend



Aggregate fill



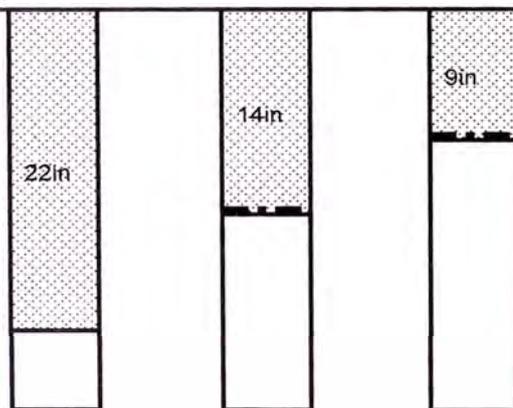
Existing subgrade



Additional fill required

Unreinforced	Tensar BX1100	Tensar BX1200
--------------	---------------	---------------

Proposed Grade
Existing Grade



Aggregate costs	\$157,404	\$100,166	\$64,392
Aggregate Savings	\$0	\$57,238	\$93,011
Cost of geosynthetic	\$0	\$16,818	\$24,292
Undercut costs	\$21,219	\$13,503	\$8,681
Undercut savings	\$0	\$7,716	\$12,539
Additional cost to build up to required top level	\$0	\$0	\$0
Overall project savings	\$0	\$48,136	\$81,257
Percent savings	0%	27%	45%

This document was prepared using SpectraPave2 (version 2.14)
Developed by Tensar Earth Technologies, Inc.
Copyright 1998 - 2004, All Rights Reserved.

Cost Savings

Geosynthetic	Required Aggregate Fill Thickness (in)	Thickness Savings (in)	Aggregate Savings (%)
Unreinforced	27	N/A	N/A
Tensar BX1100	18	9	33
Tensar BX1200	14	13	48

References

1. Gabr M. (2001)
Cyclic plate loading tests on geogrid reinforced roads.
Research report to Tensar Earth Technologies Inc., N.C. State University
2. Giroud J.P and Han J. (2004)
Design method for geogrid-reinforced unpaved roads:
Part 1 – Development of design method
ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering

ANEXO 3

PLANOS

N

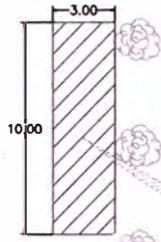


SECTOR K

SECTOR J

DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA



ZONA DE TRABAJO
10.00m x 3.00m



FACULTAD DE ARQUITECTURA
URBANISMO Y ARTES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

SECTOR H

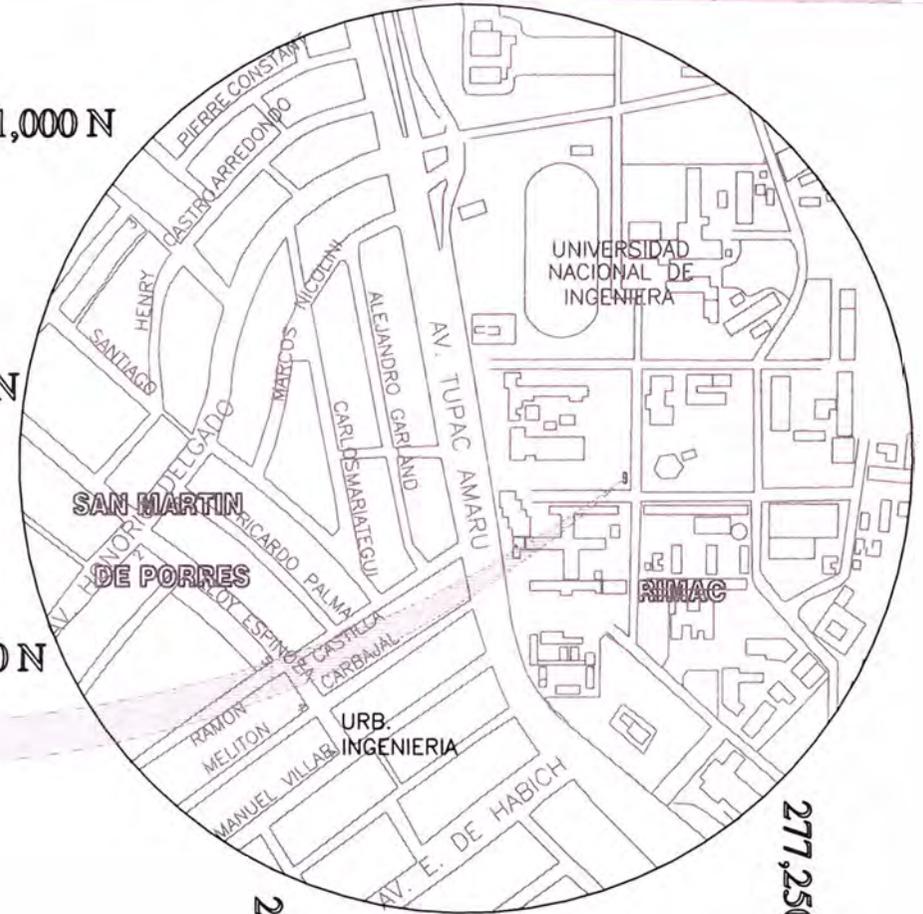
SECTOR G

8'671,000 N

8'670,750 N

8'670,500 N

UBICACION
1 / 250



276,750 E

277,000 E

277,250 E

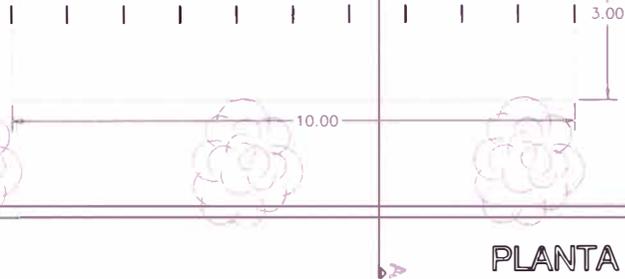
LOCALIZACION
1 / 5,000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		
APLICACION DE GEOSINTETICOS EN OBRAS DE INGENIERIA CIVIL		
PROYECTO:	APLICACION DE GEOMALLAS EN VIAS AFIRMADAS DISEÑO DEL REFUERZO DE LA SUBRASANTE	PLANO Nº U-01
PLANO:	UBICACION - LOCALIZACION	
UBICACION:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - SECTOR K	
BASE: ING. CARLOS VILMER SUAREZ YINCO	AUTORIZADO: CMYT	FECHA: MAYO 2007
		ESCALA: INDICADA

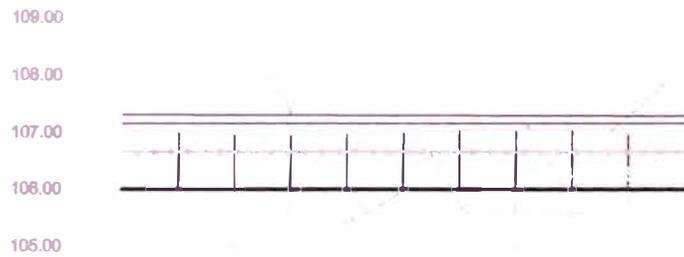


ZONA DE TRABAJO

10.00m x 3.00m



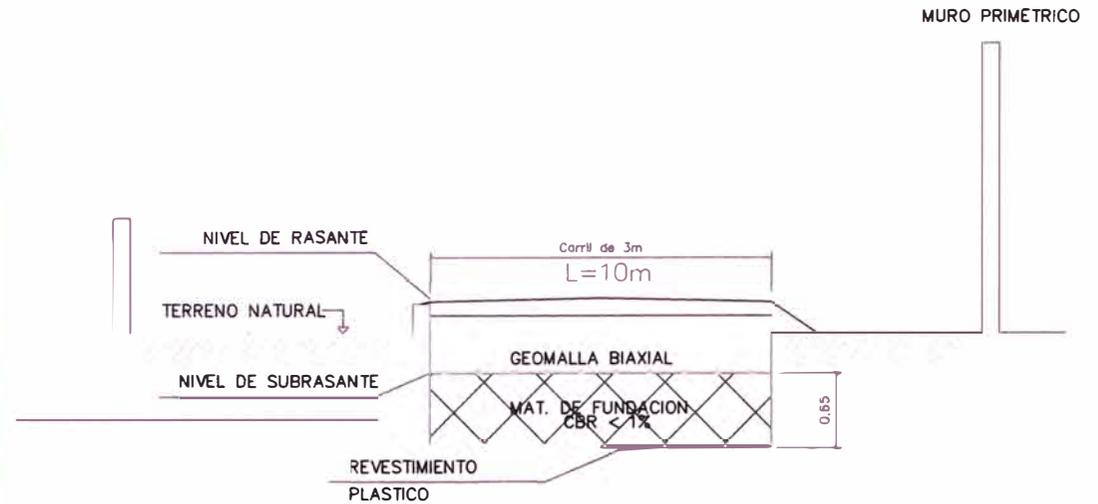
PLANTA
1 / 100



PROGRESIVA	0+000	0+004	0+002	0+003	0+004	0+006	0+008	0+007	0+009	0+009	0+010
COTA DE TERRENO	107.048	106.986	106.985	106.983	106.976	107.053	107.128	107.058	107.128	106.972	106.988
COTA DE RASANTE	107.30	107.290	107.290	107.294	107.292	107.290	107.289	107.286	107.284	107.282	107.281
COTA DE SUB RASANTE	107.19	107.18	107.18	107.18	107.18	107.18	107.18	107.18	107.18	107.18	107.18
ALTURA CORTE	0.560	0.340	0.115	0.114	0.328	0.365	0.378	0.325	0.325	0.325	0.325
PENDIENTE					0.20 %						

PERFIL LONGITUDINAL
H = 1 / 100
V = 1 / 100

LEYENDA



CORTE A - A
1 / 50

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

APLICACION DE GEOSINTETICOS EN OBRAS DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: **APLICACION DE GEOMALLAS EN VIAS AFIRMADAS
DISEÑO DEL REFUERZO DE LA SUBRASANTE**

PLANO Nº

PL-01

PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL

DISEÑO:

BACH. ING. CARLOS WILMER SUAMARI TINCO

UBICACION:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - SECTOR K

AUTOCAD:

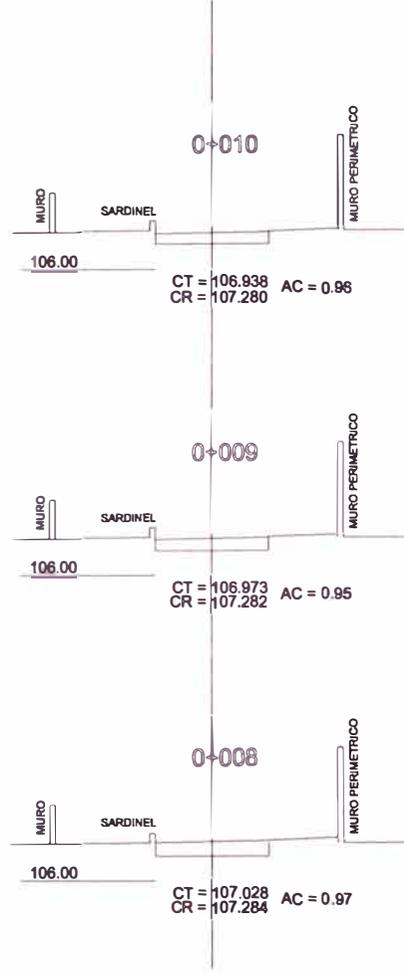
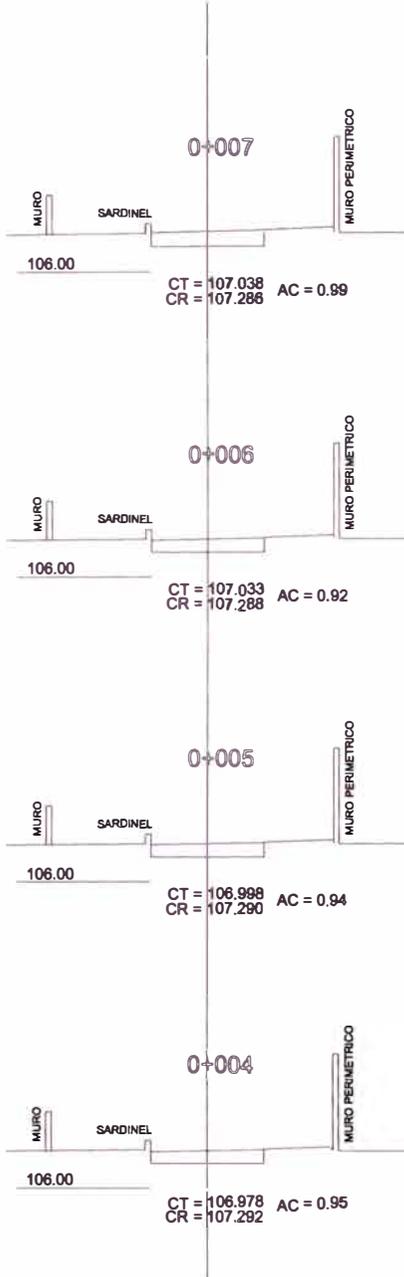
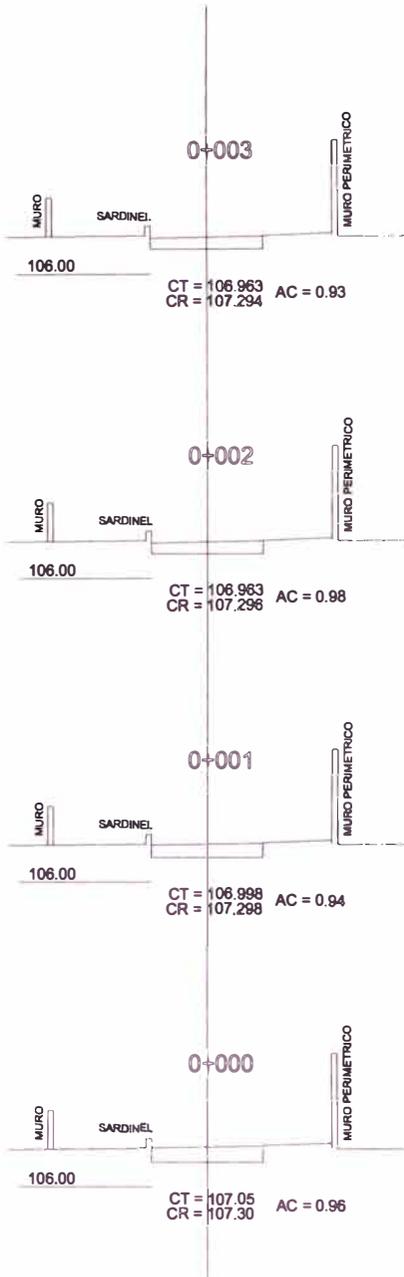
CWHT

FECHA:

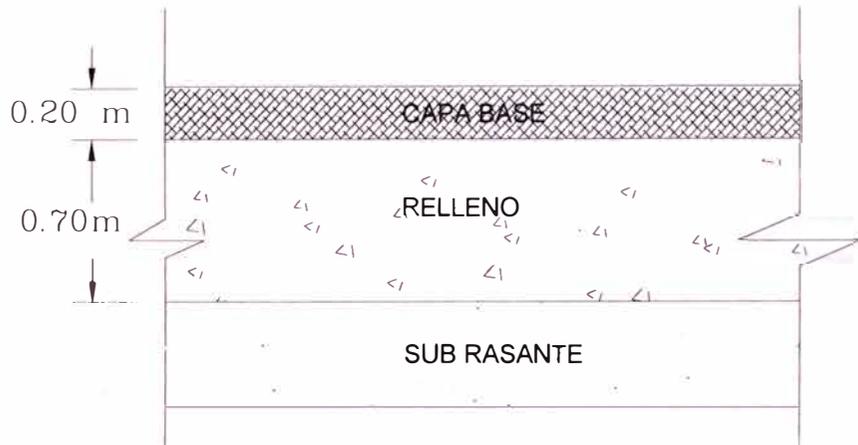
MAYO 2007

ESCALA:

INDICADA

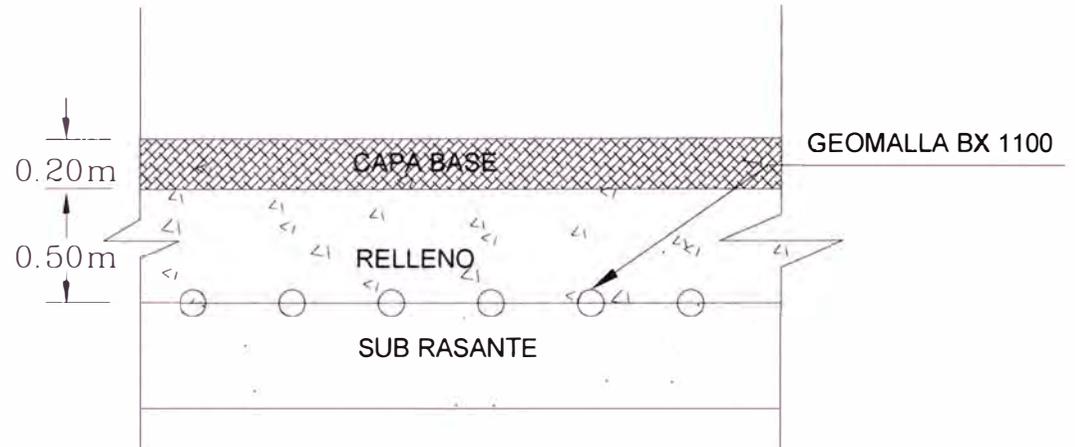


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
APLICACION DE GEOSINTETICOS EN OBRAS DE INGENIERIA CIVIL			
PROYECTO:	APLICACION DE GEOMALLAS EN VIAS AFIRMADAS DISEÑO DEL REFUERZO DE LA SUBRASANTE		PLANO Nº
PLANO:	SECCIONES TRANSVERSALES (0+000 - 0+010)		S-01
DISEÑO:	UBICACION: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - SECTOR K		
BACH. ING. CARLOS WILMER HUAMANI TINCO	AUTOCAD:	FECHA:	ESCALA:
	CWHT	MAYO 2007	H = 1/200 V = 1/200



DETALLE TIPICO DE MEJORAMIENTO
DE SUBRASANTE CON RELLENO
NO REFORZADO

1 / 50



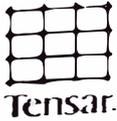
DETALLE TIPICO DE MEJORAMIENTO
DE SUBRASANTE CON RELLENO
REFORZADO

1 / 50

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA APLICACION DE GEOSINTETICOS EN OBRAS DE INGENIERIA CIVIL				
PROYECTO		APLICACION DE GEOMALLAS EN VIAS AFIRMADAS		PLANO N°
PLANO		REFUERZO DE LA SUBRASANTE		R-01
DISEÑO		UBICACION		
BACH INC. CARLOS WILMER HUAMANI TINCO		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - SECTOR K		
AUTOCAD		FECHA	ESCALA	
CWHT		MAYO 2007	INDICADA	

ANEXO 4

ESPECIFICACIÓN GEOMALLA TENSAR BX 1100



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