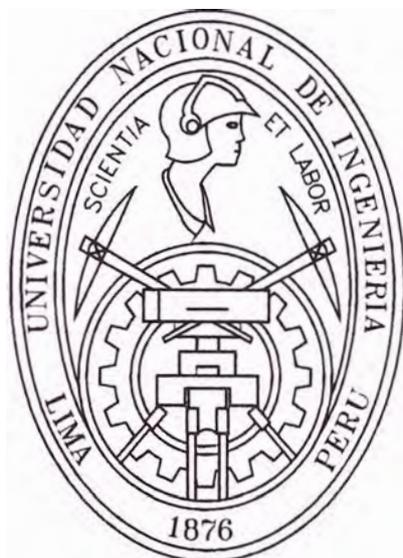


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



APLICACION DE GEOMALLAS EN VIAS AFIRMADAS

CONTROL DE CALIDAD

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

RENATO OCAÑA MEJÍA

Lima- Perú

2007

INDICE

| | |
|--|-----------|
| Resumen | 4 |
| Lista de tablas | 5 |
| Lista de figuras | 6 |
| Introducción | 8 |
| CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEORICOS DE LAS GEOMALLAS | 9 |
| 1.1 Definiciones | 9 |
| 1.2 Historia de las geomallas | 9 |
| 1.3 Tipos de geomallas | 10 |
| 1.3.1 Geomallas Uniaxiales | 10 |
| 1.3.2 Geomallas Biaxiales | 10 |
| 1.3.3 Geomallas Soldadas | 11 |
| 1.3.4 Geomallas Tejidas | 11 |
| 1.4 Aplicaciones de las geomallas | 12 |
| 1.5 Diversos tipos de geomallas en el mercado nacional | 12 |
| 1.5.1 Geomallas Biaxiales Tenax Rs 320 | 13 |
| 1.5.2 Geomallas Multicapas Biaxiales Tenax Ms | 14 |
| 1.5.3 Geomallas TT mono-orientadas Tenax | 15 |
| 1.5.4 Geomallas LBO bi-orientadas Tenax | 16 |
| 1.6 Testimoniales | 17 |
| CAPITULO II: PROPIEDADES DE LAS GEOMALLAS | 19 |
| 2.1 Propiedades físicas | 19 |
| 2.2 Propiedades mecánicas | 19 |
| 2.2.1 Resistencia de la junta y costilla simple | 19 |
| 2.2.2 Resistencia a la tensión de muestra ancha | 20 |
| 2.2.3 Resistencia al corte | 21 |
| 2.2.4 Resistencia de anclaje al suelo | 24 |
| 2.2.5 Resistencia de anclaje a conexiones de muros | 26 |
| 2.3 Propiedades de durabilidad | 27 |
| 2.4 Propiedades de degradación | 28 |

| | |
|--|-----------|
| CAPITULO III: CONTROL DE CALIDAD EN LA INSTALACION | 32 |
| 3.1 Al empezar la Instalación | 32 |
| 3.2 Preparación del sitio | 33 |
| 3.3 Colocación de geomallas traslapadas | 34 |
| 3.4 Tensado y sujeción | 35 |
| 3.5 Descarga y distribución del relleno de áridos | 38 |
| 3.6 Compactación | 40 |
| 3.7 Consideraciones especiales | 42 |
| 3.7.1 Realizar las reparaciones | 42 |
| 3.7.2 No nivelar los surcos | 42 |
| 3.7.3 Tiempo frío | 42 |
| 3.7.4 Consideraciones sobre el relleno de áridos | 43 |
| 3.7.5 Equipos preferidos | 44 |
| 3.7.6 Excavación a través de la geomalla | 44 |
| | |
| CAPITULO IV: ENSAYO EXPERIMENTAL DE LA GEOMALLA | 45 |
| 4.1 Condiciones necesarias para la aplicación de la Geomalla . | 45 |
| 4.2 Funciones y aplicaciones. | 47 |
| 4.3 Utilización de la Geomalla . | 48 |
| 4.4 Trabajos topográficos . | 50 |
| 4.5 Ensayos de laboratorio | 52 |
| 4.5.1 Obtención del CBR | 52 |
| 4.6 Consideraciones para la colocación de la Geomalla | 54 |
| 4.7 Verificación y Control en campo de la Geomalla en las Vías . | 56 |
| | |
| CAPITULO V: NORMAS Y ENSAYOS PARA LA SUPERVISION DE OBRAS | 59 |
| 5.1 Especificaciones técnicas de la geomalla biaxial | 59 |
| 5.2 Ensayos y tolerancias de la geomalla mínimas necesarias | 63 |
| 5.3 Consideraciones de la Geomalla para los Ensayos | 64 |
| 5.4 Métodos y ensayos de la ASTM y de la GRI | 65 |
| 5.4.1 ASTM Sociedad Americana de Ensayos de Materiales | 65 |
| 5.4.2 GRI Instituto de Investigación de Geosintéticos | 66 |
| 5.5 Notas Generales | 66 |

| | |
|---|----|
| Conclusiones | 67 |
| Recomendaciones | 68 |
| Bibliografía | 69 |
| Anexos : | 70 |
| Panel fotografico | 71 |
| Planos | 79 |
| Cálculo de la profundidad del material degradado | 80 |
| Ensayos de laboratorio | 83 |
| Especificaciones técnicas del producto Geomalla Biaxial Bx 1100 | 89 |

RESUMEN

El taller "Aplicación de Geosintéticos en Obras Civiles" del Curso de Actualización de Conocimientos 2007 planteó como objetivo la aplicación de diversos geosintéticos como solución a casos particulares que se presentan en diversos proyectos de ingeniería civil.

En ese sentido el Jefe de Proyecto planteó la aplicación de geosintéticos (geotextil, geomallas y geowebbs) como solución a la ejecución de una vía afirmada sobre un terreno cuyo CBR sea menor a 1%. Para ese caso particular, se formaron 03 grupos de trabajo integrados por 05 alumnos cada uno.

Asimismo, se definió un sector dentro del Laboratorio Nacional de Hidráulica cuyas dimensiones cubrían un área de 30 m² (ancho = 3.00 mts y largo = 10.00 mts) donde se ejecutaron los tramos de prueba de cada grupo para así poder analizar el comportamiento de los diversos geosintéticos como solución al mismo caso.

Debido a que el terreno natural existente en el sector definido para los trabajos no cumplía con las condiciones preestablecidas los 03 grupos optaron por degradar el terreno existente con el objetivo de obtener un material cuyo CBR sea menor a 1% y así aplicar los geosintéticos definidos.

Luego de realizar todos estos trabajos, cada grupo inició el afinamiento de sus diseños en función a los criterios que cada tipo de geosintético solicita. En nuestro caso nos encargaremos de la "Aplicación de Geomallas en vías Afirmadas" para el caso de mejoramiento de la subrasante y/o refuerzo de base/subbase, el cual se diseñó en función de la Geomalla Biaxial BX 1100 de Tensar Corporation donada por la empresa Tecnología de Materiales.

En este informe nos enfocaremos sobre el control de calidad de las geomallas a utilizar en la ejecución de trabajos de pavimentos reforzados y mejorados con geomallas realizados en el Laboratorio Nacional de Hidráulica.

LISTA DE TABLAS

| | Pag |
|--|------------|
| Tabla 2.1: Resultados de los ensayos de resistencia de la unión de la geomalla aislada y de la costilla | 20 |
| Tabla 2.2: Resultados de Ensayos de corte directo usando varias geomallas. | 23 |
| Tabla 2.3: Valores recomendados del factor de reducción para la determinación de la resistencia de tensión permisible de geomallas. | 31 |
| Tabla 3.1: Resumen de los parámetros de instalación de las geomallas | 34 |
| Tabla 3.2: Gradación preferida del relleno | 43 |
| Tabla 5.1: Propiedades mínimas admisibles para el refuerzo en terraplén y estructura granular de pavimento. | 60 |
| Tabla 5.2: Tabla de ensayos y tolerancias de la geomalla mínimas necesarias. | 64 |
| Tabla 5.3: Todos los valores son valores mínimos promedio de rollo (MARV) a menos que se indique un rango o característica: | 65 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pag |
|--|----------|
| Figura 1.1: El Zigurat | 10 |
| Figura 1.2: La Gran Muralla China | 10 |
| Figura 1.3: Geomallas Uniaxiales | 10 |
| Figura 1.4: Geomallas Biaxiales | 11 |
| Figura 1.5: Geomallas Soldadas | 11 |
| Figura 1.6: Geomallas Tejidas | 11 |
| Figura 1.7: Almacenamiento (horizontal) de los rollos de las geomallas. | 13 |
| Figura 1.8: Geomalla Biaxial Tenax Rs 320 | 14 |
| Figura 1.9: Geomallas Multicapas. Biaxiales Tenax Ms | 15 |
| Figura 1.10: Geomallas TT Mono-orientadas Tenax | 15 |
| Figura 1.11: Geomallas LBO Bi-orientadas Tenax | 16 |
| Figura 2.1: Disposición del ensayo para medir la resistencia de la unión en aislamiento. | 20 |
| Figura 2.2: Montaje del ensayo y procedimiento para obtener las resistencias al corte en la interfase, involucrando las geomallas. | 22 |
| Figura 2.3: Diagramas de la caja de arrancamiento del suelo para evaluar el comportamiento de anclaje de las geomallas. | 24 |
| Figura 2.4: Mecanismo involucrado en la resistencia de anclaje de una geomalla. | 25 |
| Figura 2.5: Resultados de ensayos de arrancamiento de geomallas seleccionadas en una arena para concreto bien graduada. | 26 |
| Figura 2.6 y 2.7: Resultados de pruebas de deformación bajo esfuerzo constante (creep) de la geomalla. | 27 28 |
| Figura 3.1: Efecto raqueta las geomallas distribuyen las cargas pesadas sobre suelos blandos del mismo modo que las raquetas soportan el peso de un hombre sobre la nieve blanda. | 33 |
| Figura 3.2: Almacenamiento (horizontal) de los rollos de las geomallas. | 33 |
| Figura 3.3: Desenrolle la geomalla. | 34 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.4: Translapes superpuestos en la direccion del avance del relleno | 35 |
| Figura 3.5 a : Colocación de la geomalla para acomodar las curvas . | 36 |
| Figura 3.5 b : Uso de una sierra mecanica para cortar la geomalla . | 36 |
| Figura 3.6 a: Anclaje de geomalla con arandelas y clavijas. | 37 |
| Figura 3.6 b: Grapas para anclar la geomalla . | 37 |
| Figura 3.7: Descarga de relleno de aridos encima de geomallas sobre una subrasante CBR > 4 . | 38 |
| Figura 3.8: Distribución del relleno de áridos encima de las Geomallas . | 39 |
| Figura 3.9: Descarga de relleno de áridos encima de geomallas sobre una sub rasante blanda. | 39 |
| Figura 3.10: Descarga de relleno de áridos encima de geomallas sobre una sub rasante blanda | 40 |
| Figura 3.11: Compactación del relleno de áridos | 41 |
| Figura 3.12: Una excavación con retroexcavadora a traves de la geomalla. | 44 |
| Figura 4.1: Zona de trabajo en donde se aplicará la geomalla Biaxial BX 1100. | 45 |
| Figura 4.2: Diseño típico de mejoramiento de subrante con relleno reforzado | 47 |
| Figura 4.3: Construcción Convencional. | 49 |
| Figura 4.4: Pavimento Reforzado con Geomalla | 49 |
| Figura 4.5 : Ubicación y Localización | 50 |
| Figura 4.6 : Perfil Longitudinal | 51 |
| Figura 4.7 : Secciones Transversales (0+000 – 0 +010) | 51 |
| Figura 4.8: El material que se usará para la degradación | 52 |
| Figura 4.9: Material sometido a compactacion en gabinete y saturación al 100% para ensayarse con el DPL | 53 |
| Figura 4.10: Ensayo con el Penetrometro Dinámico Liviano realizado en suelos saturados a diferentes compactaciones. | 53 |
| Figura 4.11: Ensayo con el Penetrometro Dinámico Liviano (DPL) en el material saturado para calcular el CBR in situ. | 54 |

INTRODUCCION

La prolongación de la vida útil de las vías ha sido una permanente preocupación por parte de las entidades públicas a nivel nacional e internacional, que se encargan de la ejecución y del posterior cuidado de éstas. Los ensayos realizados sobre nuevos materiales que racionalicen de alguna manera los costos de mantenimiento que la estructura de pavimento flexible requiere, han traído nuevos horizontes.

Para la realización del informe se han desarrollado 5 capítulos que a continuación se detallan:

CAPITULO I.- En este capítulo se exponen los fundamentos teóricos , su historia a través del tiempo como se han ido desarrollando las geomallas y sus aportes a las obras de ingeniería.

CAPITULO II.- Se desarrollan las propiedades de las geomallas, las que dan la utilidad al ser empleadas en las vías afirmadas y otras obras de ingeniería.

CAPITULO III.- El capítulo se centra en hacer un seguimiento en la instalación, las medidas de control de calidad que debemos de tomar en cuenta al hacer un pedido, los certificados de pruebas necesarios, almacenamiento, tensado y colocación hasta el término de la obra .

CAPITULO IV.- En este capítulo describiremos el ensayo experimental que realizamos con la geomalla, las consideraciones necesarias que debemos de tener en cuenta para su aplicación, los controles de calidad antes y después de la instalación, los ensayos de laboratorio sobre el terreno cumpliendo la condición de que la capacidad portante (CBR) sea menor al 1%.

CAPITULO V.- En este capítulo nos enfocaremos en el control de calidad de la geomalla una vez instalada si se cumplieron los ensayos y normas mínimas necesarias.

CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEORICOS DE LAS GEOMALLAS

En este capítulo trataremos acerca de cómo se han ido utilizando las geomallas a través del tiempo en el diseño de obras de ingeniería, relacionadas con la construcción de carreteras y otras aplicaciones .

1.1.-DEFINICIONES

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

Geomalla.- La geomalla es un material geosintético 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 (polipropileno, polietileno), y las juntas en las cruces son hechas usando diversos métodos. Existen geomallas uniaxiales y biaxiales, de diferentes tamaños de abertura.

1.2.-HISTORIA DE LAS GEOMALLAS

Hace 3000 años los babilonios para reforzar sus suelos , es decir mejorar la capacidad portante utilizaban ramas de palmas entretejidas en las cimentaciones de la construcción de sus Zigurat (pirámides) .

Por ejemplo : El Zigurat (Irak) fue construido con ladrillos de arcilla reforzada con mantas tejidas colocadas entre capas de arena y grava. La altura total de esta construcción alcanzo los 80 metros. Ver figura 1.1

La Gran Muralla China , construida Hace 2000 años tiene algunas secciones donde la arcilla y la grava fueron reforzadas con ramas de un arbusto llamado tamariz o taray. Ver figura 1.2



Figura 1.1: El Zigurat



Figura 1.2: La Gran Muralla China

1.3.-TIPOS DE GEOMALLAS

1.3.1.- Geomallas Uniaxiales

En las geomallas uniaxiales, los agujeros circulares producidos en una lámina de polietileno de alta densidad, llegan a ser elipses alargadas cuando la lámina es inducida a esfuerzos que originan su deformación en una dirección. Por tanto, su estructura molecular es fuertemente alargada en un sentido y la resistencia a la deformación por carga sostenida es incrementada.

Las **geomallas uniaxiales** son ideales para aplicaciones en las cuales la dirección de los esfuerzos principales se presenta mayor en un sentido. Ver figura 1.3



Figura 1.3: Geomallas Uniaxiales

1.3.2.- Geomallas Biaxiales

Cuando la lámina de polipropileno, perforada con agujeros cuadrados, es estirada en ambas direcciones, forma finalmente aberturas casi cuadradas o rectangulares; así la resistencia se incrementa en ambas direcciones.

Las geomallas biaxiales son para aplicaciones en las cuales los esfuerzos movilizados son esencialmente al azar. Ver figura 1.4

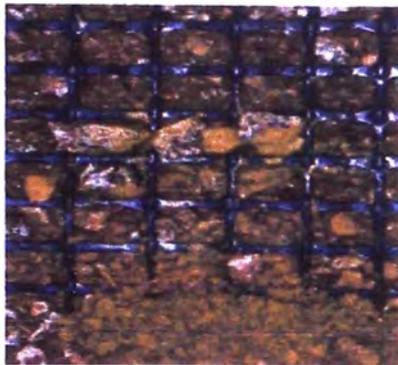


Figura 1.4: Geomallas Biaxiales

1.3.3.- Geomallas Soldadas

Las geomallas soldadas son aquellas que están constituidas de muchas fibras de poliéster de alta tenacidad, que se mantienen unidas mediante una cobertura envolvente de polipropileno. Las uniones se logran mediante el pegado por fusión. Ver figura 1.5

1.3.4.- Geomallas Tejidas

Las geomallas tejidas poseen una estructura básica obtenida por un proceso de tejido de fibras de poliéster de alta tenacidad que forman las costillas, las cuales son posteriormente unidas en las juntas mediante el sistema Knit – stitched o simplemente enredadas.

En la fase final las geomallas son cubiertas con látex, PVC o material bituminoso.

También se fabrican geomallas a partir de fibras de nylon (poliamidas) o fibra de vidrio que luego son recubiertas con polímeros, látex o bitumen. Ver figura 1.6

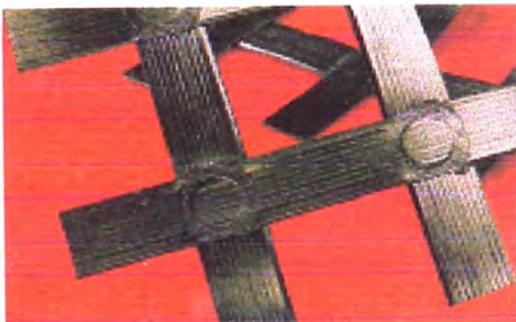


Figura 1.5: Geomallas Soldadas

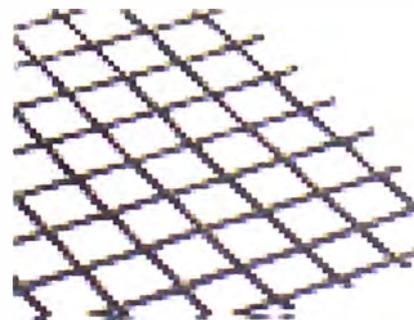


Figura 1.6: Geomallas Tejidas

1.4.-APLICACIONES DE LAS GEOMALLAS

Las función de las geomallas es principalmente de refuerzo, y estas pueden ser aplicadas en las siguientes construcciones :

- Debajo de capas de agregado en vías no pavimentadas.
- Debajo del relleno de sobrecarga o relleno temporales como plataformas de construcción.
- Para reforzar rellenos de terraplenes y presas de tierra.
- Para reparar fallas en taludes y deslizamientos.
- Como refuerzo de fundaciones sobre suelos blandos.
- Como injertos entre geotextiles y/o geomembranas.
- Para estabilizar suelos de cobertura sobre geomembranas.
- Como colchón tridimensional para incrementar la capacidad de soporte de un relleno.

1.5.-DIVERSOS TIPOS DE GEOMALLAS EN EL MERCADO NACIONAL

En el Perú existen diversas compañías que se dedican a la fabricación y comercialización de las geomallas entre ellas tenemos :

- **Netlon Ltd y Tensar Corporation** : Estas compañías comercializan geomallas orientadas uniaxial y biaxialmente.
- **Tenax Corporation** :Fabrica geomallas aparentemente similares a las de Netlon/Tensar y también están disponibles en ambos modelos, uniaxial y biaxial .
- **La Organización TC- Mirafi** :Produce y comercializa geoamallas tejidas
- **Huesker Synthetic Company** : Elabora geomallas hechas de fibras de poliéster de alta tenacidad , trensadas en las uniones y luego revestidas con PVCo con un acabado bituminoso.
- **Strata Systems,Inc.**:Fabrica y comercializa una geomalla llamada Stratagrid , que es un producto tejido de poliéster de alta tenacidad , trenzado mediante costuras en sus uniones y luego revestido con material bituminoso .

Almacenamiento de la Geomalla

La forma de almacenamiento en obra Las geomallas deben almacenarse de tal modo que no se produzca un contacto excesivo con lodo, hormigón húmedo, epoxy u otros materiales nocivos, y que éstos no queden adheridos a ellas. Las geomallas deben almacenarse a temperaturas mayores de -29 . C, y no deben manipularse a temperaturas menores de -10 . C, que es la temperatura de transición del estado vítreo del polipropileno utilizado en las Geomallas.

Las Geomallas pueden almacenarse descubiertas durante 6 meses con exposición directa a la luz solar sin que pierdan ninguna propiedad estructural certificable . Las geomallas también pueden almacenarse verticalmente (con los rollos apoyados en los extremos) o (más típicamente) horizontalmente en pilas con una altura máxima de cinco rollos (Ver Figura 1.7).



Figura 1.7: Almacenamiento (horizontal) de los rollos de las geomallas.

1.5.1.-Geomallas Biaxiales Tenax Rs 320.- Son geomallas de polietileno especialmente diseñadas para aplicaciones de taludes de superficie rocosa e inestable. Las geomallas Rs 320 son manufacturadas por un proceso único de extrusión y orientado en diversos sentidos de tal manera que aumentan sus propiedades mecánicas.

Las geomallas Tenax Rs 320 tienen un alto módulo y resistencia a la tensión excelente , resistencia a los daños durante la construcción y exposición del medio ambiente.

Mas aun, la geometría de las geomallas Tenax Rs 320 permiten un fuerte interlock mecánico y una gran adherencia a la superficie rocosa a contener y reforzar. Las geomallas Tenax Rs 320 están estabilizadas para una exposición continua a los rayos U.V. que garantice su eficiencia a largo plazo. Ver figura 1.8

Aplicaciones:

- Protección caída de rocas .
- Mejoran la Sub rasante y refuerzan la base
- Aumentan la capacidad portante en cimentaciones.
- Estabilización de suelos blandos .
- Cargas sobre áreas extensas .
- Aeropuertos .

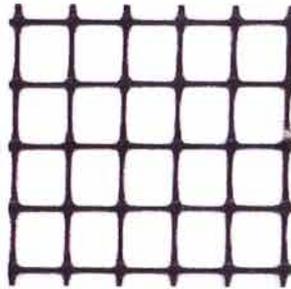


Figura 1.8: Geomalla Biaxial Tenax Rs 320

1.5.2.-Geomallas Multicapas Biaxiales Tenax Ms.- Es un compuesto de geomallas de polipropileno (PP) que se obtiene al combinar un determinado número de capas de geomallas.

Es un producto modular que puede ser fabricado con diferentes resistencias y propiedades requeridas en cualquier proyecto en particular. Geomallas estándares se fabrican al combinar hasta 5 capas de geomallas ligeras y flexibles permitiendo una distribución de esfuerzos muy uniforme debido al número de cuerdas obteniéndose condiciones similares al efecto raíz. Tenax Ms es por tanto, particularmente adecuado para refuerzo de suelos finos y muy blandos .

Al combinar diversas capas, resistencias considerables pueden ser producidas, capaces de tomar cargas intensas o estabilizar suelos con vacíos o cavidades producidas por asentamientos diferenciales. Ver figura 1.9

Aplicaciones :

- Caminos pavimentados y no pavimentados
- Estabilización de vías férreas y aeropistas
- Distribución de cargas permanente y semi-permanente sobre grandes áreas .
- Taludes con suelos áridos y rocosos .

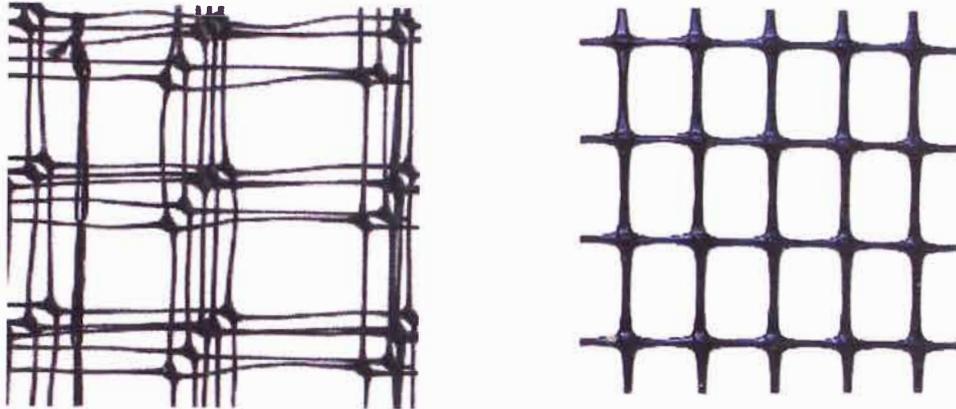


Figura 1.9: Geomallas Multicapas.Biaxiales Tenax Ms

1.5.3.-Geomallas TT Mono-orientadas Tenax:

- Alta resistencia a la tensión en sentido longitudinal al 2% y 5% de deformación.
- Alta resistencia a los nodos.
- Alta rigidez flexural.
- Interlock (trabazón).
- Resistencia pullout .

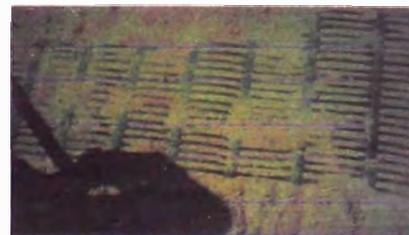
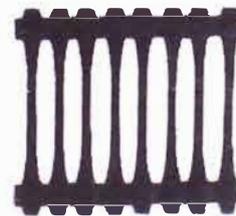


Figura 1.10: Geomallas TT Mono-orientadas Tenax

1.5.4.-Geomallas LBO Bi-orientadas Tenax:

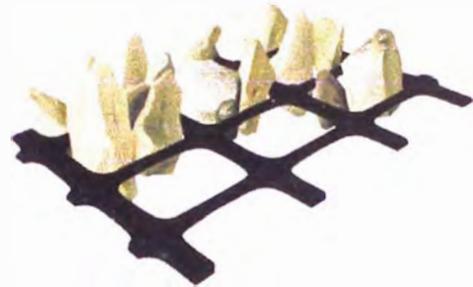
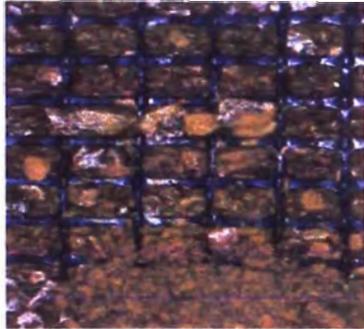


Figura 1.11: Geomallas LBO Bi-orientadas Tenax

- Material Inerte, Resistencia Química
- Alta Resistencia a la tensión en sentido longitudinal y transversal al 2% y 5% de deformación .
- Interlock (trabazón).
- Alta Resistencia flexural

1.6.-TESTIMONIALES

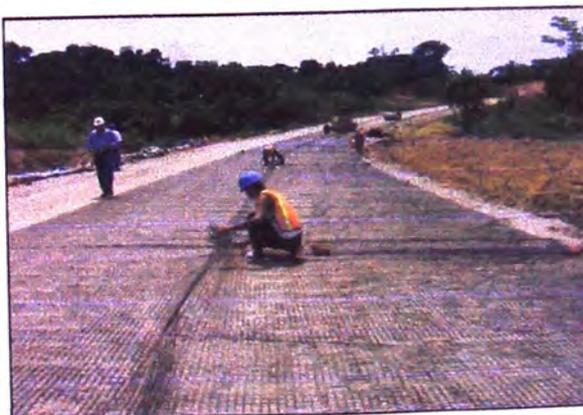
Carretera Tarapoto – Yurimaguas, 2005 (Provias Nacional)

Geomalla Biaxial BX1200 (Mejoramiento de subrasante)

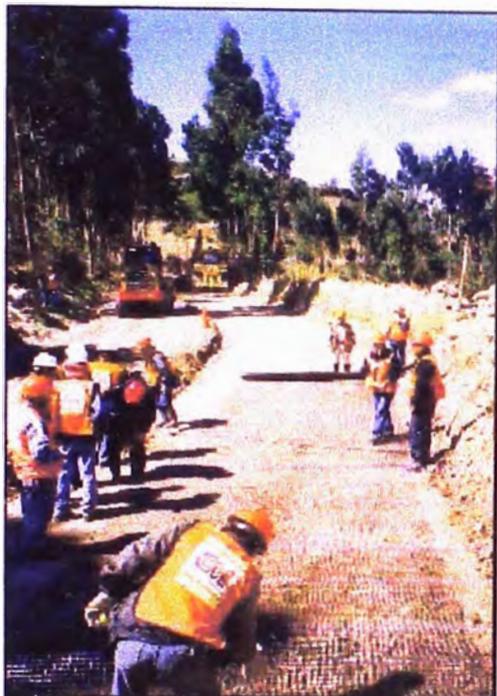


Carretera Iquitos Geomalla Biaxial BX1100 (Mejoramiento de subrasante)

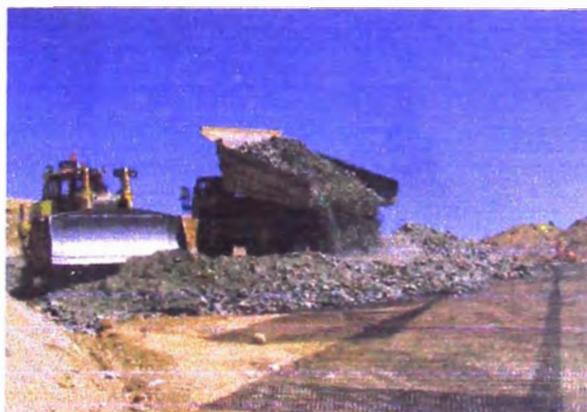
– Nauta, 2004



Carretera Cajamarca-Yanacocha, 2003 Geomalla Biaxial BX1100 (Mejoramiento de subrasante)



Vías de acarreo Mina Pierina BX 1100 (Mejoramiento de subrasante) – HUARAZ PERU , 2006



Fuente: Relación de Obras en el Perú con geomallas Biaxiales Tensar
TDM (Tecnología de materiales)
Pagina web : www.tdm.com.pe

CAPITULO II: PROPIEDADES DE LAS GEOMALLAS

En este capítulo trataremos acerca de las propiedades de las geomallas, en las diversas construcciones de vías y otras obras de ingeniería .

2.1.-PROPIEDADES FISICAS

Muchas de las propiedades físicas de las geomallas pueden ser medidas o determinadas directamente. Estas incluyen el tipo de estructura, tipo de junta, tamaño de abertura y espesor. Otras propiedades de interés son:

- Masa por unidad de área que varía de 200 a 1,000 gr/m²
- Porcentaje de área abierta (que fluctúa entre 40 y 95 %).

Existe una propiedad física de las geomallas, importante en su fabricación, que se llama **RIGIDEZ**. Esta puede ser medida mediante el ensayo de rigidez flexural ASTM D1388.

ASTM (Sociedad Americana de Ensayos de Materiales)

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.

2.2.-PROPIEDADES MECANICAS.- Entre las propiedades mecánicas de las geomallas tenemos:

2.2.1.- 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 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. (Ver figura 2.1)

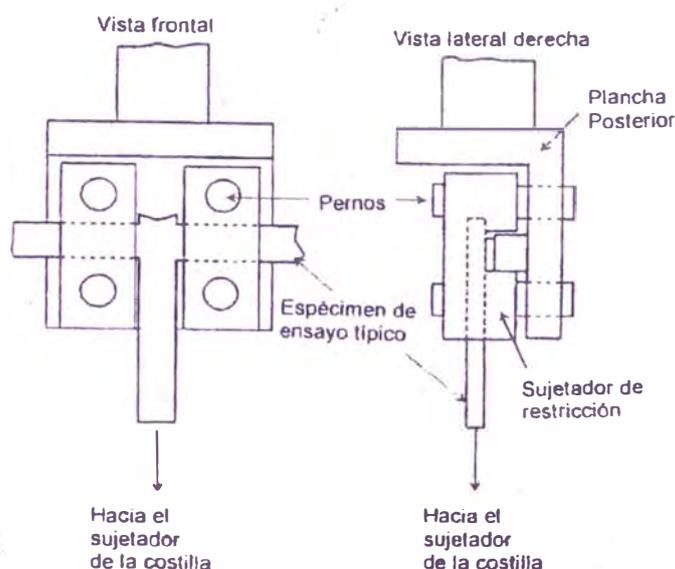


Figura 2.1

Disposición del ensayo para medir la resistencia de la unión en aislamiento

2.2.2.- Resistencia a la tensión de muestra ancha.- En este caso los especímenes de ensayo son mas largos, que el ensayo anterior ;analizar 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 espaciamento 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. (ver tabla 2.1)

Tabla 2.1: Resultados de los ensayos de resistencia de la unión de la geomalla aislada y de la costilla

| Designación de la Geomalla | Resistencia Prom. de la Unión* (kN) | Resistencia Prom. de la Costilla (kN) | Eficiencia de la Unión (%) |
|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| TU - 1 | 1.12 | 1.16 | 97 |
| - 2 | 1.86 | 2.04 | 91 |
| - 3 | 2.60 | 2.49 | 104 |
| - 4 | 1.31 | 1.33 | 99 |
| - 5 | 2.14 | 2.17 | 99 |
| - 6 | 2.68 | 2.77 | 97 |
| TB - 1 | 0.57 | 0.61 | 93 |
| - 2 | 0.72 | 0.75 | 96 |
| - 3 | 1.44 | 1.51 | 95 |
| TA | 1.02 | 1.03 | 99 |
| TB | 1.38 | 1.49 | 93 |
| SA | 1.96 | 4.16 | 47 |
| PA | 0.29 | 4.40 | 7 |
| MA | 0.18 | 1.42 | 13 |

El ensayo de resistencia de la unión no fue lateralmente confinado y fue evaluado en un dispositivo del tipo mostrado en la (Figura 2.1)

Existen 2 métodos de ensayos principalmente usados:

a) 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) 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 % 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.

2.2.3.- 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: adhesión (c_a) y el ángulo de resistencia al corte del suelo con la geomalla (δ). Se encuentran dos juegos de valores; los valores pico y los valores residuales.

Ensayo y procedimiento para calcular los parámetros de resistencia al corte en la interfase suelo-geomalla.(ver figura 2.2)

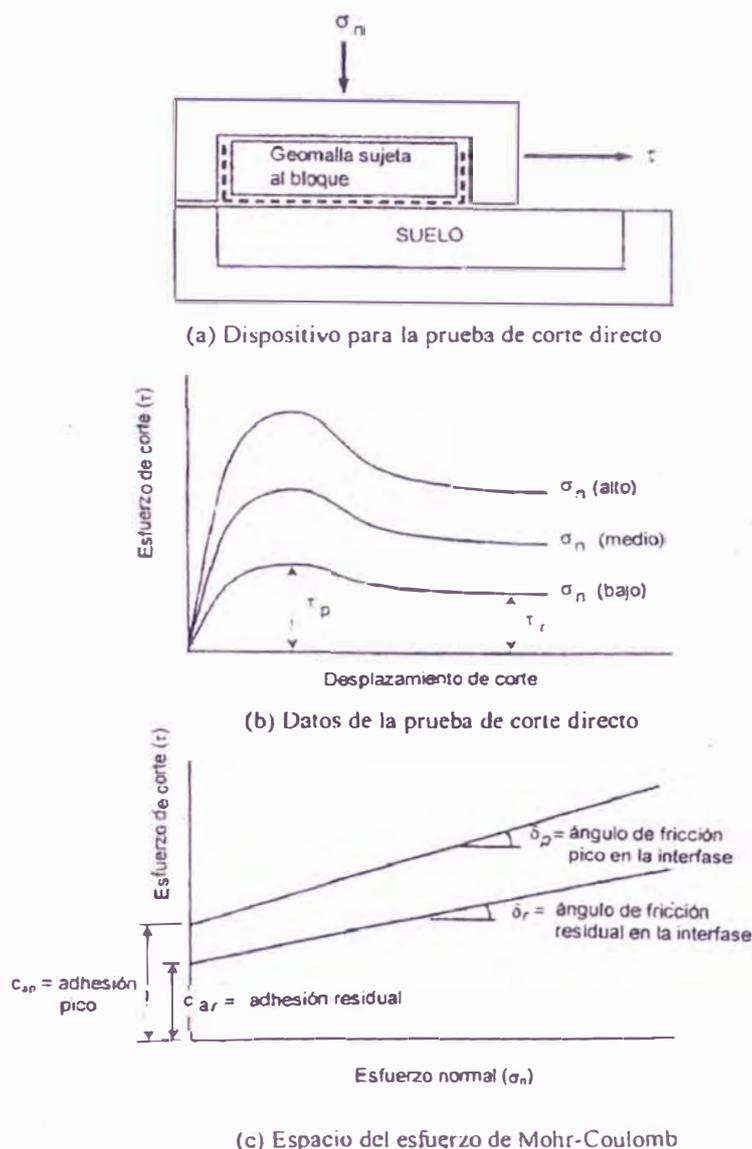


Figura 2.2: Montaje del ensayo y procedimiento para obtener las resistencias al corte en la interfase ,involucrando las geomallas.

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

$$E_c = (c_a / c) \times 100 \dots\dots\dots (2.1)$$

$$E_\phi = (\tan \delta / \tan \delta) \times 100 \dots\dots\dots (2.2)$$

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.

En la tabla 2.2 se muestran valores resultantes de ensayos. El suelo usado fue una arena angular bien graduada (SW), en condición seca y 90% de densidad relativa. La cohesión del suelo fue cero y el ángulo de fricción pico fue 44°. Las eficiencias son bastante altas debido a la configuración de las geomallas.

La reducción en la resistencia del suelo ocurre sólo a lo largo de la superficie de las costillas de la geomalla; el mejoramiento se obtendría, más bien, por la superficie de las costillas transversales de la geomalla.

Tabla 2.2: Resultados de Ensayos de corte directo usando varias geomallas

| Condición de Ensayo | Ensayo 1 | | Ensayo 2 | |
|-------------------------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|
| | Ángulo de Fricción (°) | Eficiencia (%) | Ángulo de Fricción (°) | Eficiencia (%) |
| Suelo con Suelo | 44 | 100 | 44 | 100 |
| Suelo con Geomalla Biaxial 1 | 43 | 96 | 44 | 100 |
| Suelo con Geomalla Biaxial 2 | 45 | 103 | 45 | 103 |
| Suelo con Geomalla Biaxial 3 | 46 | 107 | 46 | 107 |
| Suelo con Geomalla Uniaxial 1 | 35 | 72 | 37 | 78 |
| Suelo con Geomalla Uniaxial 2 | 37 | 78 | 39 | 84 |
| Suelo con Geomalla Uniaxial 3 | 42 | 93 | 43 | 96 |

Las geomallas fueron firmemente adheridas a una placa de madera en la porción móvil de la caja de corte y deslizada sobre el suelo fijo en la base de la caja de corte.

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:

$B_{GG} > 3.5 d_{50}$, donde:

B_{GG} = ancho mínimo de la abertura de la geomalla .

d_{50} = tamaño promedio de partícula del suelo de relleno .

Esta es una consideración importante cuando se selecciona el tipo de relleno a ser usado alrededor de geomallas .Afortunadamente , el criterio puede ser fácilmente adaptado para una amplia calidad de tipos de suelo con fines de relleno.

2.2.4.- Resistencia de anclaje al suelo: La capacidad intrínseca de las geomallas radica en la resistencia de anclaje (Pull Out), la cual excede de lejos la resistencia al corte directo. Este comportamiento se debe a que las aberturas de la geomalla permiten la **trabazón mecánica** del suelo de un lado al otro de la geomalla. Obviamente las partículas del suelo deben ser lo suficientemente pequeñas para permitir su penetración a través de las aberturas. (Ver figura 2.3)

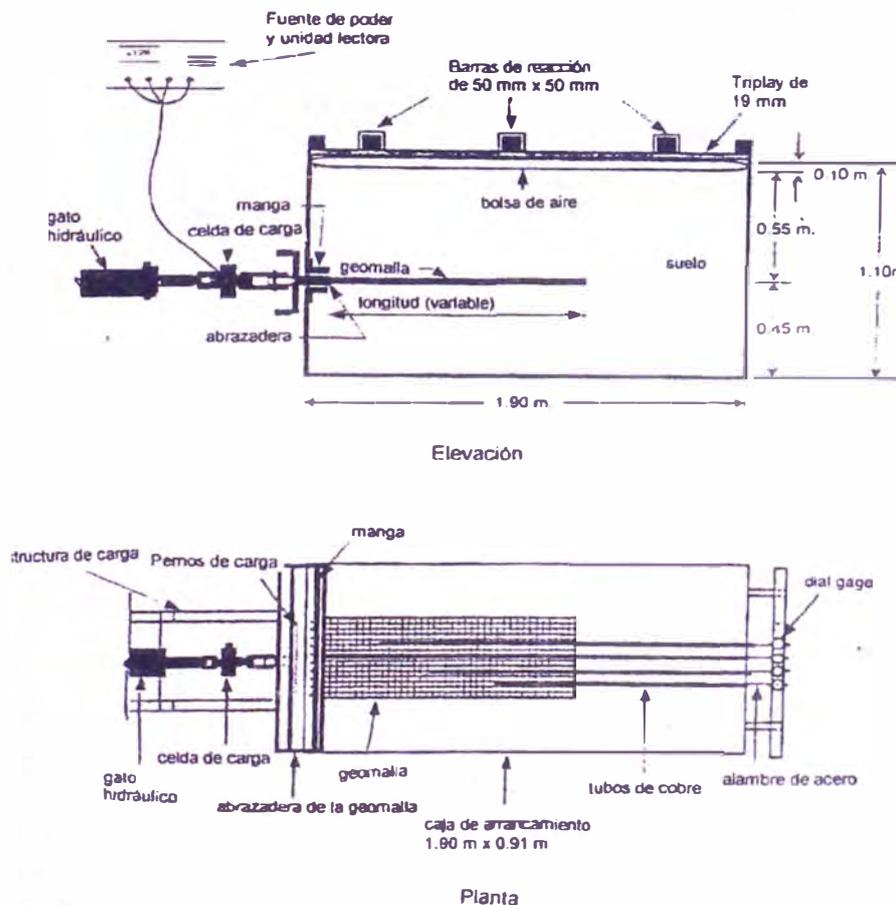


Figura 2.3: Diagramas de la caja de arrancamiento del suelo para evaluar el comportamiento de anclaje de las geomallas .

El coeficiente de interacción C_j , se define a partir de la siguiente ecuación:

$$C_j = \frac{T}{2 L_e \sigma'_n \tan \Phi'} \dots\dots\dots (2.3)$$

T = Capacidad de anclaje por unidad de ancho (KN/m)

C_j = Coeficiente de interacción (adimensional)

L_e = Longitud de empotramiento de la geomalla (m).

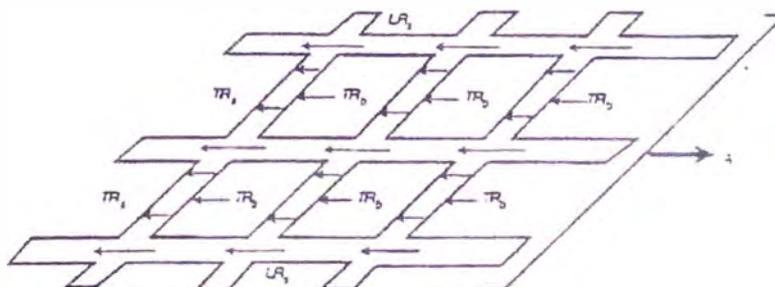
σ'_n = Esfuerzo normal efectivo en la geomalla (kPa)

Φ' = Angulo de fricción efectiva del suelo (grados)

Este valor C_j es específico para el tipo de suelo ensayado.

El valor de Φ' es para el suelo solo, y no un valor suelo-geomalla. Esta ecuación podría ser modificada para suelos cohesivos, pero usualmente los materiales de relleno son suelos granulares, y si no lo fueran, la omisión de la cohesión conduce a un diseño conservador.

El ensayo de anclaje evita la necesidad de ensayos de resistencia de junta y de costilla simple. Si las juntas son inadecuadas, el sistema fallará a un bajo esfuerzo de tensión, lo cual se reflejará en un valor de coeficiente de interacción relativamente bajo. (Ver figura 2.4)



Leyenda

- A_s = Resistencia Total de Anclaje (Arrancamiento)
- LR_s = Resistencia al Corte de la Costilla Longitudinal
- TR_s = Resistencia al Corte de la Costilla Transversal
- TR_p = Capacidad Portante de la Costilla Transversal

Figura 2.4: Mecanismo involucrado en la resistencia de anclaje de una geomalla.

2.2.5.- Resistencia de anclaje a conexiones de muros: Los muros de suelo reforzado, generalmente, tienen un paramento constituido por un panel o un bloque modular, unido a la geomalla, a través de la fricción o una conexión mecánica.

La capacidad de la conexión de la geomalla al paramento debe ser evaluada. No existe un método de ensayo estandarizado para esta evaluación. Un método acostumbrado consiste en imponer un esfuerzo normal determinado a la geomalla y tensionarla hasta la falla.

La falla puede darse de diferentes maneras: la falla de la geomalla por tensión, falla de la conexión, deslizamiento de la geomalla o falla del bloque. El ensayo muestra el modo de falla y también la resistencia última de todo el sistema de anclaje. (Ver figura 2.5)

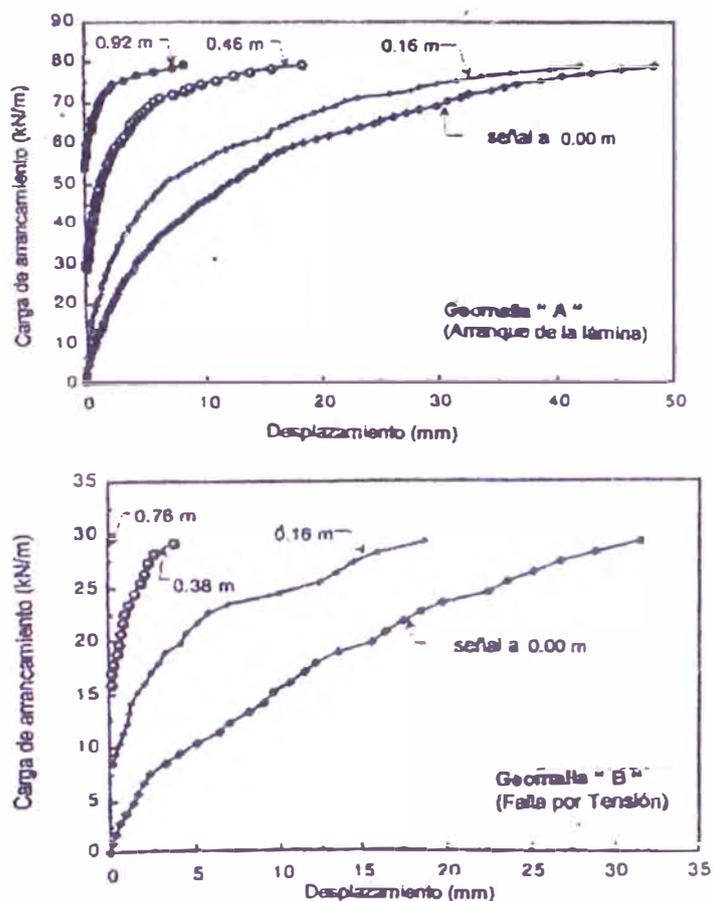


Figura 2.5: Resultados de ensayos de arrancamiento de geomallas seleccionadas en una arena para concreto bien graduada , a un esfuerzo normal de 69 Kpa a una velocidad de arrancamiento de 1.5 mm/min y una longitud de la geomalla de 0.92 m.

2.3.-PROPIEDADES DE DURABILIDAD

Debido a que las geomallas son usadas en aplicaciones de refuerzo, algunas de las cuales requieren vida de servicio relativamente largas, es necesario evaluar algunas sollicitaciones que afectan la durabilidad, tales como: los daños de instalación y el CREEP (deformación por carga sostenida).

Daños de Instalación: Como en todos los geosintéticos, la instalación de las geomallas requiere cuidado.

Las pérdidas de resistencia por instalación, que son causados principalmente por el uso de agregados de gran tamaño pobremente graduados y equipos de construcción pesados, pueden llegar hasta 30%. A veces es necesario colocar un colchón de arena adyacente a la geomalla para minimizar estos daños.

Creep: Este fenómeno depende de la estructura molecular del polímero que conforma la geomalla, del nivel de esfuerzo, del tiempo, la temperatura y otros factores ambientales.

Esta propiedad ha sido extensamente evaluada en muchas geomallas.

En las figuras 2.6 Y 2.7 se puede apreciar los resultados para un producto dado.

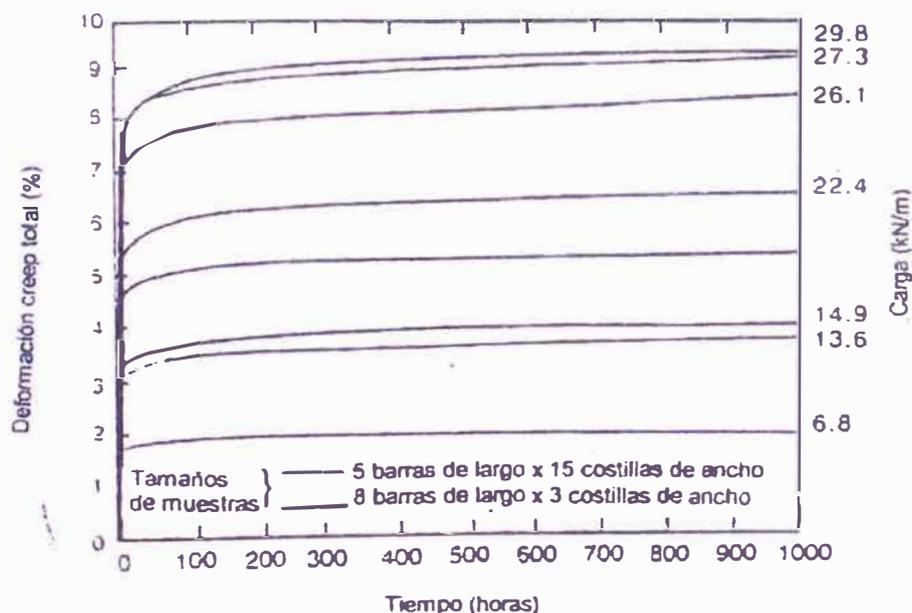


Figura 2.6

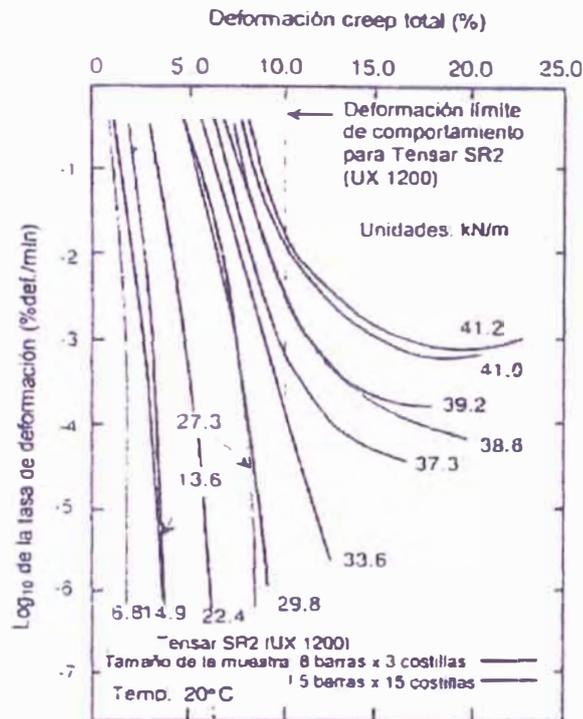


figura 2.7

Figura 2.6 y 2.7 :Resultados de pruebas de deformación bajo esfuerzo constante (creep) de la geomalla .

Las fibras geotextiles de polietileno y polipropileno, requieren factores de reducción por CREEP generalmente altos, debido a la deficiencia de la orientación que sí tiene lugar en la fabricación de las geomallas constituidas de estos materiales. Esta discusión sobre el CREEP se refiere al comportamiento de una muestra ancha de costillas longitudinales de la geomalla. Los métodos de ensayo son ASTM D5262 y la ISO 13431.

2.4.-PROPIEDADES DE DEGRADACION

Efectos de la temperatura: La única precaución que se debe tomar es que las temperaturas altas pueden exacerbar las deformaciones crecientes debidas al CREEP. Ello requiere ensayos reales a las temperaturas en uso o el uso de factores de reducción más altos que los típicos utilizados para el CREEP.

Efectos de la oxidación: Las poliolefinas son consideradas las más susceptibles a este fenómeno de degradación causada por la reacción con el oxígeno.

Efectos de la hidrólisis: Las resinas de poliéster son particularmente afectadas por este fenómeno, especialmente cuando están inmersas en un líquido que tiene alta alcalinidad.

Efectos químicos: Las poliolefinas y el poliéster poseen excelentes resistencias a un amplio rango de productos químicos. Si existieran condiciones inusuales, como por ejemplo, el caso de lixiviados de desechos, podría ser necesario realizar algún ensayo real.

Efectos radiactivos: A menos que existan materiales de alta radiactividad en la vecindad de las geomallas, los materiales con baja o mediana radiactividad no causarán problemas a la geomalla.

Efectos biológicos: Hay prácticamente una ausencia total de elementos susceptibles de degradación en las geomallas por efectos biológicos, exceptuando los revestimientos en las geomallas flexibles. El látex, el bitumen, o los plastificantes en el PVC podrían ser sensibles a los microorganismos; pero aunque así fuera, las fibras de poliéster de alta cristalinidad, permanecerían probablemente inafectadas.

Efectos de rayos ultravioletas: Como con todos los materiales poliméricos, la degradación por rayos ultravioletas puede ocurrir con las geomallas. El tiempo de exposición de las geomallas puede ser considerablemente más largo que el de los geotextiles, debido al espesor de las costillas en las geomallas de poliolefinas y al revestimiento protector en las geomallas de poliéster. Las especificaciones no deberían permitir más allá de 30 días de exposición antes de la cobertura.

Resistencia al stress – crack: Los polímeros de alta cristalinidad son sensibles a las roturas frágiles bajo esfuerzo. El ensayo usado para evaluar esta tendencia es el ASTM D 5397

La base del diseño por función es el establecimiento de un factor de seguridad global:

$$FS = \frac{T_{perm}}{T_{req}} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación (2.4)}$$

FS = Factor de seguridad (para acomodar las condiciones de carga no conocidas o las incertidumbres en el método de diseño)

T_{perm} = Resistencia a la tensión permisible.

T_{req} = Resistencia a la tensión requerida, que se obtiene del diseño de la situación particular.

La resistencia a la tensión obtenida en el laboratorio es llamado usualmente Valor Ultimo y debe ser reducido antes de ser usado en el diseño:

$$T_{perm} = T_{ult} \left[\frac{1}{FR_{DI} \times FR_{CR} \times FR_{DQ} \times FR_{DB}} \right] \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación (2.5)}$$

T_{ult} = Resistencia a la tensión última obtenida del ensayo estándar de tensión de muestra ancha.

T_{perm} = Resistencia a la tensión permisible para propósito de diseño.

Factores De Reducción

FR_{DI} = Factor de reducción por daños de instalación.

FR_{CR} = Factor de reducción para evitar deformación por carga sostenida durante la vida útil de la estructura.

FR_{DQ} = Factor de reducción por degradación química.

FR_{DB} = Factor de reducción por degradación biológica.

(Ver tabla 2.3)

Tabla 2.3:Valores recomendados del factor de reducción para su uso en la ecuación (2.5) . En la determinación de la resistencia de tensión permisible de geomallas

| Area de Aplicación | FR _{DI} | FR _{CR} | FR _{Dq} | FR _{DB} |
|-------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Caminos no Pavimentados | 1. 1a 1. 6 | 1. 5a 2. 5 | 1. 0 a 1. 5 | 1. 0 a 1. 1 |
| Caminos no Pavimentados | 1. 2a 1. 5 | 1. 5 a 2. 5 | 1. 1a 1. 6 | 1. 0 a 1. 1 |
| Terraplenes | 1. 1 a 1. 4 | 2. 0a 3. 0 | 1. 1 a 1. 4 | 1 0 a 1. 2 |
| Taludes | 1. 1 a 1. 4 | 2. 0a 3. 0 | 1. 1 a 1. 4 | 1. 0 a 1. 2 |
| Muros | 1. 1a 1. 4 | 2. 0a 3. 0 | 1. 1a 1. 4 | 1. 0 a 1. 2 |
| Capacidad Portante | 1. 2a 1. 5 | 2. 0a 3. 0 | 1. 1a 1. 6 | 1. 0a 1. 2 |

Es evidente que algunos de estos valores podrían ser 1.0 o ligeramente mayores, resultando totalmente despreciables.

Por el contrario, otros factores de reducción no específicamente mencionados, podrían ser incluidos en la ecuación teniendo en cuenta la situación particular.

Por ejemplo, FR_{UV} factor de reducción por degradación a los rayos ultravioletas; por uniones o conexiones hechas en campo FR_{Junta}; por penetraciones o punzonamiento FR_{pen}.

CAPITULO III: CONTROL DE CALIDAD EN LA INSTALACION

En este capítulo trataremos los controles para verificar la calidad de la geomalla suministrada al proyecto. Para esto debemos hacer ensayos en campo y laboratorio, mínimas necesarias que se deben cumplir en cualquier obra de acuerdo a sus propiedades.

3.1.- AL EMPEZAR LA INSTALACION

- Cuando se hace un pedido, se deben comunicar todos los criterios pertinentes al proyecto o a la aplicación, incluidos los requisitos de certificación. Por lo general, es aconsejable programar una conferencia antes de la construcción con el representante que nos va a proporcionar la geomalla, para evitar inconvenientes en el momento de la instalación.
- En el momento de la entrega, deben controlarse las etiquetas de los rollos de geomallas para verificar que se haya recibido el producto deseado. (Por ejemplo, las geomallas BX1100 y BX1200 tienen un aspecto similar pero características estructurales distintas, de modo que es importante diferenciarlas). Deben inspeccionarse las geomallas para asegurar que no tengan fallas ni daños producidos durante el envío o la manipulación.
- Las geomallas deben almacenarse de tal modo que no se produzca un contacto excesivo con lodo, hormigón húmedo, epoxi u otros materiales nocivos, y que éstos no queden adheridos a ellas. Las geomallas deben almacenarse a temperaturas mayores de -29 . C, y no deben manipularse a temperaturas menores de -10 . C, que es la temperatura de transición del estado vítreo del polipropileno utilizado en las Geomallas.
- Las Geomallas pueden almacenarse descubiertas durante 30 días con exposición directa a la luz solar sin que pierdan ninguna propiedad estructural certificable. Las geomallas también pueden almacenarse verticalmente (con los rollos apoyados en los extremos) o (más

típicamente) horizontalmente en pilas con una altura máxima de cinco rollos (Ver Figura 3.1 y 3.2).

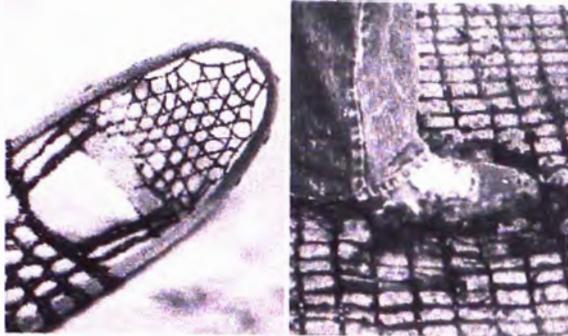


Figura 3.1. Efecto raqueta las geomallas distribuyen las cargas pesadas sobre suelos blandos del mismo modo que las raquetas soportan el peso de un hombre sobre la nieve blanda.



Figura 3.2. Almacenamiento (horizontal) de los rollos de las geomallas.

3.2. PREPARACIÓN DEL SITIO

- Despejar, desraizar y excavar (si fuera necesario) hasta lograr el nivel del diseño, eliminando la capa vegetal, los escombros perjudiciales y los materiales inapropiados del sitio. Para suelos muy blandos ($CBR < 1$), con frecuencia es aconsejable minimizar la alteración de la subrasante, limitándose a cortar los troncos y demás vegetación protuberante lo más cerca posible a la superficie del suelo (Tabla 3.1). Para suelos moderadamente competentes ($CBR > 2$), tal vez sea prudente pasar un rodillo liviano sobre la subrasante para ubicar los materiales inapropiados.

- Allanar y compactar los suelos usando los equipos de compactación apropiados. Tal vez sea difícil allanar o compactar ciénagas, turbas, pantanos, en tales situaciones, crear una superficie lo más uniforme posible. Nivelar o inclinar la superficie de tal modo que el drenaje se aleje de la zona de construcción. (Ver Figura 3.3)

Nota: Por lo general, se recomiendan los procedimientos de construcción rutinarios para preparar el sitio; rara vez hacen falta medidas especiales para acomodar las geomallas .

- Colocar las geomallas , cortar las bandas de los rollos y desenrollarlas encima de la superficie preparada (Figura 3.3). En aplicaciones para

mejorar la subrasante, esta superficie será siempre la subrasante. En aplicaciones para reforzar la base, es posible que sea la subrasante, la subbase o alguna elevación de la capa base (por ejemplo, en el medio).

3.3. COLOCACIÓN DE GEOMALLAS TRASLAPADAS .



Figura 3.3: Desenrolle la geomalla .

- En los caminos, desenrollar la geomalla en la dirección del tráfico, de modo que el eje largo del rollo esté paralelo con el eje de la vía. Como alternativa, para subrasantes muy blandas ($CBR \leq 1/2$), tal vez sea preferible desenrollar la geomalla transversalmente, o sea, en forma perpendicular a la alineación del terraplén del camino, especialmente si hay inquietudes sobre el desplazamiento lateral y la separación de los traslapes (Tabla 3.1).
- Traslapar los rollos adyacentes por los costados y los extremos según la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Resumen de los parámetros de instalación de las geomallas

| Resistencia de subrasante | Despejar toda la vegetación | Orientación BX | Traslape BX | Ataduras | Tráfico directo | Geotextil |
|---------------------------|-----------------------------|----------------|-------------|----------|-----------------|-------------------|
| $CBR \leq 1/2$ | N | T O L | 90 cm | S | N | Requiere análisis |
| $1/2 \leq CBR \leq 2$ | por lo general | L | 60 - 90 cm | N | N | Requiere análisis |
| $2 \leq CBR \leq 4$ | S | L | 30 - 60 cm | N | limitado | Requiere análisis |
| $4 \geq CBR$ | S | L | 30 cm | N | S | N |

Nota :

1. El resumen es una presentación general; consultar el texto para averiguar detalles específicos.
 2. S= Sí, normalmente se requiere; N= No, normalmente no se requiere.
 3. Orientación de la geomalla (eje del rollo en relación al tráfico): T= Transversal; L= Longitudinal.
 4. Regla general de traslape de geomallas: Traslape = 90cm para $CBR \leq 1$; Traslape = 30 cm para $CBR \geq 3$; interpolar entre medio.
 5. Tráfico directo se refiere sólo a equipos convencionales con ruedas de goma.
 6. Requiere análisis = Se requiere geotextil sólo si los áridos no cumplen los criterios de filtración.
- Traslapar las geomallas en la dirección en la cual se esparcirá el relleno (Figura 3.4, en la próxima página) para evitar que el relleno levante las geomallas en los traslapes a medida que avanza. Para acelerar la "superposición", considerar la colocación de los rollos primero en el extremo más lejano del área de cobertura e ir hacia el extremo más cercano al lugar desde el cual se avanzará con el relleno.

3.4. TENSADO Y SUJECIÓN



Figura 3.4:Traslapes superpuestos en la dirección del avance del relleno

- Por lo general, los rollos de geomallas adyacentes no están conectados entre sí, especialmente si el relleno se coloca y se esparce de la manera descrita (Tabla 3.1). Una excepción marcada se da sobre subrasantes

muy blandas ($CBR < 1$), donde las ataduras de cable de nilón pueden ser eficaces para mantener las dimensiones del traslape. Estas ataduras no se consideran conexiones estructurales, si no más bien ayudas de construcción. Si se justifica una conexión, por ejemplo, para anclar un terraplén ensanchado a un camino existente reforzado con geomalla, se puede formar una conexión sujeta, de alta capacidad y baja deformación.

- Cortar y traslapar la geomalla para acomodar las curvas (Ver Figura 3.5a). El corte se puede realizar con cizallas afiladas o algún implemento de tipo cuchillo; sin embargo, probablemente sean más rápidas las sierras mecánicas de mano (Ver Figura 3.5b). (Usar el equipo de seguridad correspondiente). Cortar la malla de modo que se conforme a las tapas de los pozos de inspección y demás protuberancias inamovibles.



Figura 3.5a.- Colocación de la geomalla para acomodar las curvas



Figura 3.5b.- uso de una sierra mecánica para cortar la geomalla

- Colocar las geomallas en secciones de trabajo diario de modo que se mantenga la alineación correcta.

Las geomallas pueden anclarse para mantener los traslapes y la alineación en el área de cobertura.

- Antes de desenrollar la geomalla completamente, anclar el principio del rollo en el centro y las esquinas a la superficie subyacente.

- Anclar la geomalla con pequeñas pilas del relleno de áridos o con arandelas y clavijas (Figura 3.6a). También pueden usarse grandes grapas gruesas (Figura 3.6b), clavándolas en la capa granular a través de las aberturas de la malla.
- Desenrollar la geomalla, alinearla y tirar de ella hasta que quede tensa, eliminando las arrugas con tensión manual, y luego asegurarla.
- Posiblemente hagan falta paladas adicionales de relleno de áridos, clavijas o grapas para sujetar la geomalla antes de colocar el relleno de áridos.



Figura 3.6a.- Anclaje de geomalla con arandelas y clavijas.

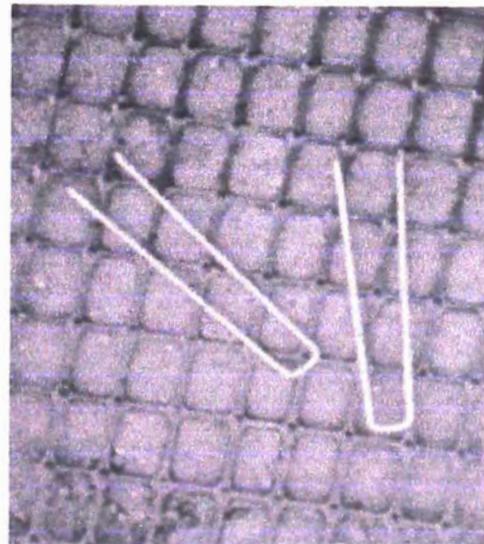


Figura 3.6b.- Grapas para anclar la geomalla

Nota: Cuando se esparce el relleno de áridos, empujándolo sobre la Geomalla con equipos pesados como niveladoras, es posible que la acción de empuje cree una “ola” en la geomalla delante del relleno que avanza. Las paladas de relleno o las clavijas pueden atrapar esta ola y forzar la geomalla a subir a la capa de áridos, donde puede ser dañada por la maquinaria. El tensado de la geomalla por lo general mitiga esto, eliminando las “olas”.

Si se forman olas importantes, deben removerse las clavijas o el material apilado para permitir que las olas se disipen en el extremo y a los costados del rollo.

3.5.-DESCARGA Y DISTRIBUCION DEL RELLENO DE ARIDOS

Advertencia: No usar equipos sobre orugas directamente encima de las geomallas ; usar sólo equipos con ruedas de goma directamente encima de las geomallas, siempre que no se tiendan a formar surcos en el substrato bajo el tráfico limitado de la construcción.

- Por lo general, se requieren al menos 15 cm para el espesor inicial del relleno de áridos encima de la geomalla . Sin embargo, para condiciones muy blandas, normalmente es bastante más grueso para evitar la formación excesiva de surcos y fallas en la capacidad de carga. El software SpectraPave2. o la Regla de cálculo para el mejoramiento de Subrasantes Spectra pueden calcular los requerimientos iniciales del espesor .
- En subrasantes ($CBR > 4$, consúltese la Tabla 3.1), se puede verter el relleno de áridos directamente encima de la geomalla (Ver Figura 3.7). Camiones estándares (con descarga por el extremo o por el medio) con ruedas de goma, habilitados para las carreteras, pueden pasar encima de la geomalla a velocidades muy reducidas (menos de 8 kph) y descargar el relleno de áridos a medida que avanzan, siempre que este tráfico de construcción no cause surcos importantes en la subrasante descubierta. No deben permitirse giros ni arranques y paros repentinos.



Figura 3.7: Descarga de relleno de aridos encima de geomallas sobre una subrasante $CBR > 4$

- No manejar equipos con orugas directamente encima de las Geomallas. Asegurarse de que haya al menos 15 cm de relleno de áridos entre la geomalla y el equipo con orugas (Ver Figura 3.8).



Figura 3.8: Distribución del relleno de áridos encima de las Geomallas .

- En subrasantes más blandas ($\text{CBR} < 2$), retroceder los camiones y descargar el relleno encima de relleno previamente colocado (Ver Figura 3.9). Para subrasantes muy blandas ($\text{CBR} < 1/2$), deben limitarse las alturas del apilado para evitar la sobretensión ocasionada por una excesiva carga muerta.

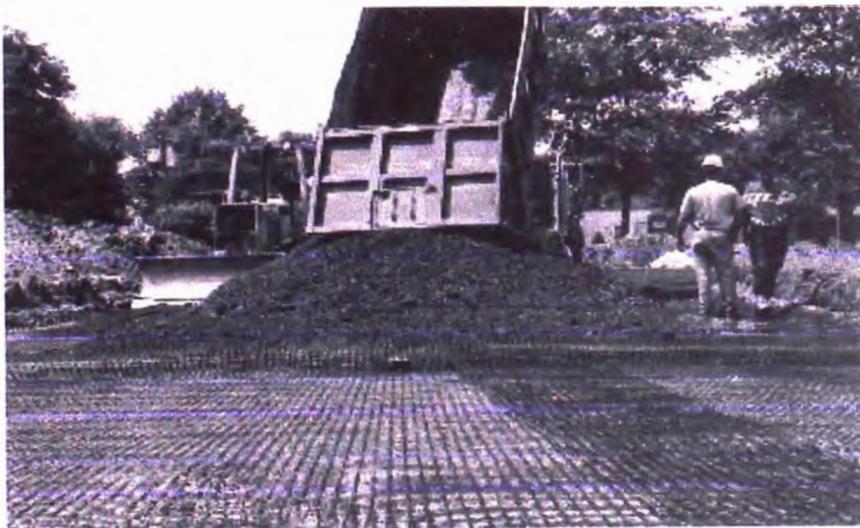


Figura 3.9.- Descarga de relleno de áridos encima de geomallas sobre una sub rasante blanda

- En las subrasantes más blandas ($\text{CBR} < 2$), recomendamos el uso de una niveladora liviana, de baja presión de suelo para empujar el relleno de manera uniforme desde el relleno existente encima de la geomalla

expuesta. Debe tenerse cuidado para no enganchar la hoja de la niveladora u otro equipo en la geomalla. La hoja de la niveladora debe levantarse paulatinamente a medida que se empuja cada carga encima de la geomalla. El efecto deseado es que el relleno caiga en cascada sobre la geomalla, en lugar de ser empujado sobre ella. Cuando se construye encima de una subrasante blanda, es aconsejable trabajar desde las áreas más fuertes hacia las más débiles de la subrasante. Avanzar el relleno de áridos para empujar toda ola en la geomalla delante del relleno de áridos de modo que pueda salir por el extremo libre, y para mantener los traslapes de los rollos adyacentes. Deben tenerse en mente los traslapes de las geomallas y avanzar el relleno de áridos con el patrón superpuesto .

3.6.- COMPACTACION

- Pueden usarse los métodos de compactación estándares a menos que los suelos sean muy blandos. En estos casos, normalmente es prudente emplear una compactación estática en lugar de vibratoria, especialmente sobre subrasantes cenagosas. Normalmente, la compactación se logra con un rodillo liviano. Si se mantiene un contenido casi óptimo de humedad, la compactación será más eficiente; el rociado de agua es especialmente eficaz con rellenos de arena (Vease la Figura 3.10). Para construir encima de suelos muy blandos, por lo general, se reducen los requisitos de compactación en la carga inicial.



Figura 3.10.- Descarga de relleno de áridos encima de geomallas sobre una sub rasante blanda

- Si se producen surcos o bombeos intensos bajo el tráfico de camiones o niveladoras, debe agregarse relleno inmediatamente para fortalecer la sección. Las subrasantes cenagosas son especialmente proclives al bombeo. En algunos casos, tal vez sea prudente suspender las operaciones durante un tiempo, para permitir que se disipen las presiones de poros y para que la subrasante se estabilice.
- Compactar el relleno de áridos según las especificaciones del proyecto después de que se haya nivelado y antes de someterlo a tráfico acumulado (Ver Figura 3.11). Una compactación inadecuada provocará la formación de surcos superficiales bajo las cargas de las ruedas. Esta formación de surcos reduce el espesor efectivo total del relleno y aumenta la tensión en la subrasante.



Figura 3.11: Compactación del relleno de áridos

Nota: Los equipos y métodos de compactación deben adecuarse al tipo de relleno utilizado, así como a su espesor y a las condiciones de apoyo subyacentes.

3.7.- CONSIDERACIONES ESPECIALES

3.7.1.-Realizar las reparaciones

- Si las geomallas se dañan durante o después de la instalación, repararlas con parches.
- Quitar el relleno de la superficie de la geomalla dañada y despejar un área de un metro de diámetro alrededor del daño.
- El parche de la geomalla debe cubrir el área dañada y extenderse 1 metro más allá de la misma en todas las direcciones.

3.7.2.-No nivelar los surcos

- Si se forman surcos profundos debajo de las ruedas de los camiones, no nivelarlos. La formación de surcos normalmente indica que el relleno es demasiado delgado, está mal compactado o está demasiado húmedo. La nivelación reducirá el espesor del relleno de áridos entre los trayectos de las ruedas y podría conducir a la exposición de las geomallas.
- Rellenar los surcos con el relleno de áridos especificado adicional y compactar. Esto coloca relleno adicional donde hace falta y podría prevenir la formación de surcos adicionales bajo el tráfico canalizado.
- Abombar el relleno durante el proceso de nivelación para asegurar el escurrimiento de la lluvia y evitar la saturación del relleno.

3.7.3.-Tiempo frío

- Las temperaturas frías aumentan la rigidez de las geomallas; las temperaturas cálidas la disminuyen. Desde la perspectiva de la manipulación, los rollos tendrán una “contracción” en las mañanas frescas que se relajará con la calidez de la radiación solar. Para evitar que las geomallas se vuelvan a enrollar, asegurar los extremos de los rollos antes de desenrollarlos.
- A temperaturas por debajo del punto de congelación, la malla es menos resistente a los impactos y puede fracturarse con fuerza dinámica (por ejemplo, golpeándola con un martillo). También deben evitarse otras cargas dinámicas junto con temperaturas muy frías. Por ejemplo, se puede permitir el tráfico de equipos con ruedas de goma encima de las

geomallas cuando la subrasante es competente; sin embargo, no es muy aconsejable en temperaturas muy frías.

3.7.4.-Consideraciones sobre el relleno de áridos

- La gradación preferida para las aplicaciones de refuerzo de bases es un relleno de áridos triturados bien gradados con un tamaño máximo de partícula de 3,8 cm y menos del 10% de finos (que pueden pasar por un tamiz #200). La gradación detallada en la (Tabla 3.2) proporciona buena estabilidad y baja susceptibilidad a la humedad. Para aplicaciones de mejora de subrasantes, cualquier relleno granular limpio puede ser aceptable. Los elementos claves para la estabilidad sobre subrasantes relativamente competentes ($\text{CBR} > 2$) son la gradación y el contenido en humedad de los rellenos de áridos. (Por ejemplo, con frecuencia es ideal el hormigón de cemento Portland reciclado que cumple esta gradación). Las subrasantes blandas ($\text{CBR} < 2$) por lo general se caracterizan por altos contenidos en humedad; hay que cuidarse de asegurar que la humedad no quede atrapada, induciendo así presión de poros y produciendo bombeo. Por esta razón, normalmente es importante que los áridos no sean plásticos y que los finos se limiten a menos del 10%.

Tabla 3.2: Gradación preferida del relleno

| Tamaño | % de finos |
|--------------|-------------|
| 2,5- 1,25 cm | 100 |
| 2cm | 50 - 100 |
| Nº 4 | 25 - 50 |
| Nº 5 | 10.- 20 |
| Nº 6 | 5.-15 |
| Nº 7 | menos de 10 |

- Las geomallas mejorarán estructuralmente las gradaciones del relleno más gruesas o más finas, siempre que el relleno de áridos esté compactado y colocado con un contenido de humedad óptimo o apenas por debajo de ello. Para un relleno más grueso, sería prudente un análisis de filtro gradado para verificar la posible contaminación de la subrasante subyacente (véase la Tabla 3.1). Si el relleno de áridos no cumple los requisitos de un filtro gradado sobre ciénagas y arcillas blandas y saturadas, se puede colocar un geotextil no tejido debajo de la geomalla. Para obtener información adicional sobre la capacidad de las geomallas

para separar eficazmente los suelos de la subrasante de los rellenos de áridos, consultar el folleto de Spectra titulado "Geomallas Biaxiales Tensar para la construcción en suelos blandos".

- No usar relleno grueso de tamaño uniforme, ya que no se compacta bien y formará surcos bajo las cargas de las ruedas a pesar de la mejor estabilidad producida por las geomallas .
- El contenido de humedad del relleno no debe exceder lo óptimo.
- El relleno saturado no es fácil de compactar y formará surcos bajo las cargas de las ruedas.

3.7.5.- Equipos preferidos

- **Suelo blando** – los equipos idóneos para esta clase de suelos son los que producen baja presión de contacto en la superficie del suelo. Esto puede lograrse con equipos más pequeños, ruedas anchas u orugas . No se prefieren los equipos que concentran cargas pesadas en contactos relativamente pequeños, por ejemplo, los cargadores frontales. En todos los casos de suelo blando, el relleno debe ser lo suficientemente grueso para impedir la sobretensión de los suelos subyacentes y de las geomallas.

3.7.6.- Excavación a través de la geomalla (Ver figura 3.12)

Cuando está atrapada debajo y dentro del relleno compactado, la geomalla normalmente no representa ningún problema importante para las actividades posteriores a la construcción, tales como la excavación de zanjas para servicios públicos o el clavado/taladrado de soportes para rieles, carteles o pilares.



Figura 3.12: Una excavación con retroexcavadora a través de la geomalla.

CAPITULO IV: ENSAYO EXPERIMENTAL DE LA GEOMALLA

El taller “Aplicación de Geosintéticos en Obras Civiles” del Curso de Actualización de Conocimientos 2006 planteó como objetivo la aplicación de diversos geosintéticos como solución a casos particulares que se presentan en diversos proyectos de la ingeniería civil.

En ese sentido el jefe de proyecto planteó la aplicación de geosintéticos (geotextil, geomallas y geoweb) como solución a la ejecución de una vía afirmada sobre un terreno cuyo CBR sea menor a 1%. Para ese caso particular, se formaron 03 grupos de trabajo integrados por 05 alumnos cada uno.

4.1 CONDICIONES NECESARIAS PARA LA APLICACION DE LA GEOMALLA

Se definió un sector dentro del Laboratorio Nacional de Hidráulica cuyas dimensiones cubrían un área de 90 m² (ancho = 3.00 mts y largo = 30.00 mts) donde se ejecutarían los tramos de prueba de cada grupo , cada grupo tenía un area de 30 m², para así poder analizar el comportamiento de los diversos geosintéticos como solución al mismo caso. Ver Figura 4.1



Figura 4.1: Zona de trabajo en donde se aplicara la geomalla Biaxial BX 1100. Se realizó excavación para colocar material con baja capacidad portante.

Debido a que el terreno natural existente en el sector definido para los trabajos no cumplía con las condiciones preestablecidas los 03 grupos optamos por degradar el terreno existente con el objetivo de obtener un material cuyo CBR sea menor a 1% y así aplicar los geosintéticos definidos.

Para conseguir estas condiciones se realizarón en forma conjunta diversos análisis, las cuales se detallan a continuación:

1. Calcular y justificar la altura de influencia del bulbo de presiones teórico ejercido por una carga de 18 toneladas obteniendo como resultado una influencia de 1.20 mts a partir de la cota de aplicación de la carga.
2. Hacer ensayos de laboratorio de granulometrías, contenidos de humedad, densidades secas y CBR para diversos materiales buscando obtener el material que al ser saturado cumpla con el CBR requerido sea menor al 1%.
3. Realizar los ensayos mencionados en una poza de prueba de un volumen de 1 m³, en el cual se saturaron los materiales ensayados y en donde se realizaron ensayos con el DPL (Penetrómetro portátil) con el cual se obtuvo una curva que correlaciona el CBR con las lecturas de penetración para diversos números de golpes.

El diseño de la geomalla como mejoramiento de la capacidad portante de la subrasante utiliza la teoría de Giroud – Han, la cual requiere como datos de entrada el CBR del terreno existente (0.70 % obtenido de la poza de prueba), la carga a ser aplicada, la presión de inflado de la llanta, el número de pasadas por eje, la capacidad de carga de la subrasante y el módulo de estabilidad de la abertura de la geomalla.

Con estos datos y siguiendo la metodología de Giroud – Han se obtuvo el siguiente diseño:

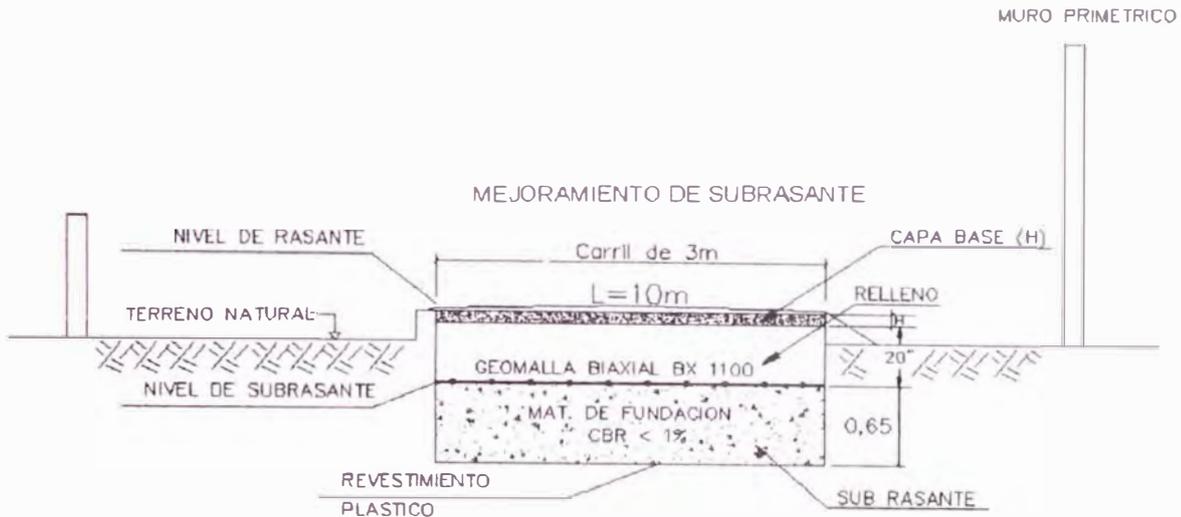


Figura 4.2: Diseño típico de mejoramiento de subrasante con relleno reforzado

Cabe resaltar que el alcance del proyecto sólo considera la ejecución del tramo de prueba a nivel de Afirmado, el cual deberá soportar una demanda de tráfico equivalente a 7 toneladas por eje y cuyo diseño esta basado en las normas AASHTO 2002.

Debido a que el objetivo es aplicar la geomalla y analizar su comportamiento no ha sido necesario incluir en el análisis un estudio de tráfico bajo el supuesto que el crecimiento porcentual anual es casi nulo.

4.2 FUNCIONES Y APLICACIONES

Principales Aplicaciones:

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

- Pavimentación de carreteras principales y caminos secundarias.
- Playas de estacionamiento para instalaciones comerciales e industriales.
- Pistas de aterrizaje.
- Centros y terminales de distribución de camiones de carga.
- Depósito con maquinaria pesada en instalaciones portuarias, ferroviarias, ínter modales e industriales.

- 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.
- Cuando en la etapa de construcción nos encontramos con subrasantes blandas de poca resistencia, tránsito de equipos pesados en la construcción, colocación de capas gruesas de relleno, costo elevado de material de relleno, subrasantes contaminadas, instalaciones de servicio público a poca profundidad, produciendo que las programaciones de obra se alarguen y/o los presupuestos de obra se incrementen, se pueden colocar las geomallas.

4.3 UTILIZACION DE LA GEOMALLA

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

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

Nota: El proyecto que realizamos fué para el mejoramiento de subrasante. (Ver anexo panel fotográfico)

Mejoramiento de Subrasante.- Se logra cuando la subrasante existente presenta un suelo blando, de poca resistencia, con $CBR < 1\%$, que no son capaces de soportar, ni siquiera, el peso de un hombre. La existencia de una falla en la subrasante sobre la que está cimentada el pavimento llevará aun deterioro rápido de la estructura del mismo. Generalmente cuando se presenta subrasantes de poca resistencia, 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 segundo por que hay que agregar materiales como la cal, cemento, otras soluciones químicas que luego hay que batirlas, con mas gastos de equipo. Otro factor a tener en consideración es el tiempo que demora en aplicar y en la actualidad **Ahorro de tiempo implica menor costo.**

El mecanismo de mejora de la subrasante se da por lo siguiente:

- 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 dificultosos cuando se construye en época lluviosa.
- 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, lo que podríamos mencionar como una simplificación en la etapa de construcción, tanto en zonas de accesos y la misma vía de ejecución.
- Para la estabilidad de terraplenes construidos sobre suelos blandos, utilizados para caminos de acceso, diques, etc.

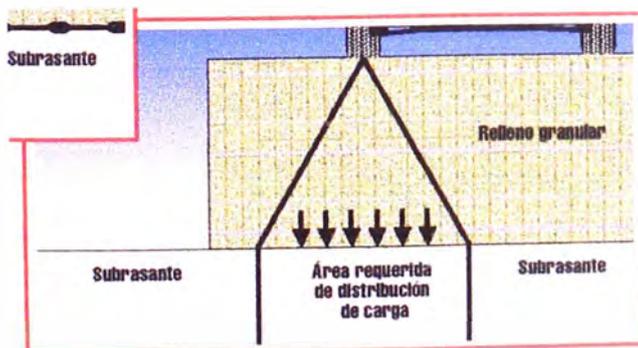


Figura 4.3
Construcción Convencional.

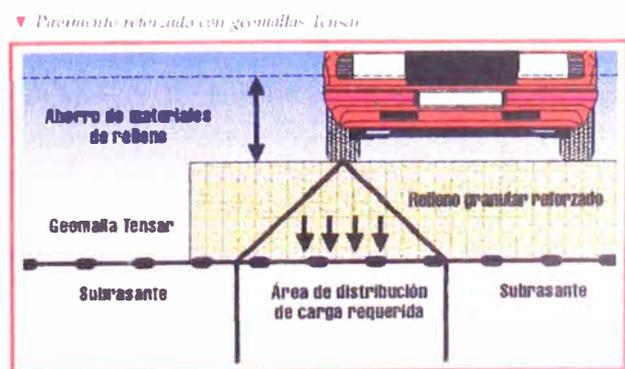


Figura 4.4
Pavimento Reforzado con Geomalla.

4.4 TRABAJOS TOPOGRAFICOS

El eje de la vía mantendrá su trazo original y será estacado cada 5 metros. Asimismo, la nivelación del eje de la vía y de las secciones transversales cada 1 metro ya que es un tramo experimental en tangente.

A continuación se presenta el listado de planos, los cuales se presentan en el ANEXO del Informe.

- Plano U-01 Ubicación y Localización
- Plano P-01 Planta y Perfil Longitudinal
- Plano P-02 Secciones Transversales (0+000 – 0 +010)

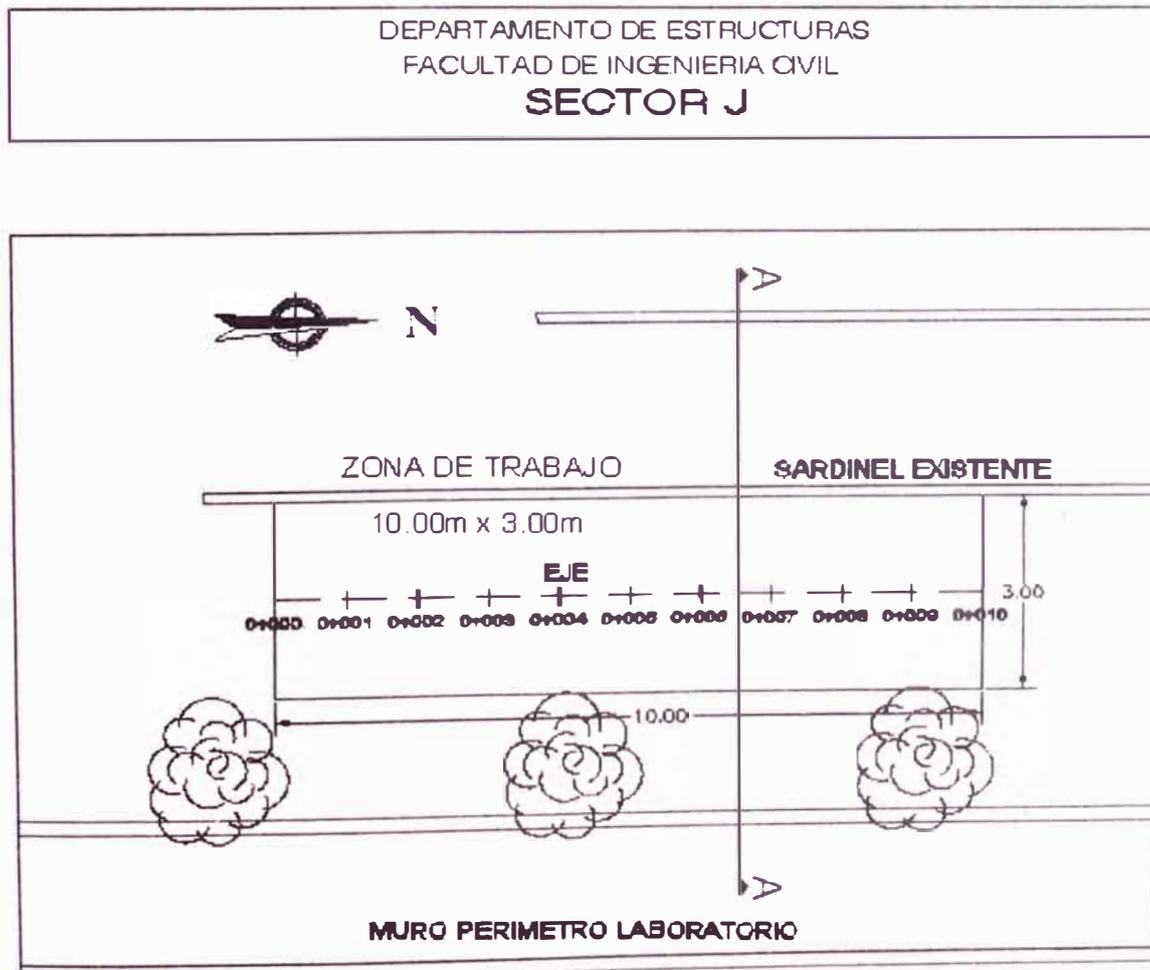


Figura 4.5 : Ubicación y Localización

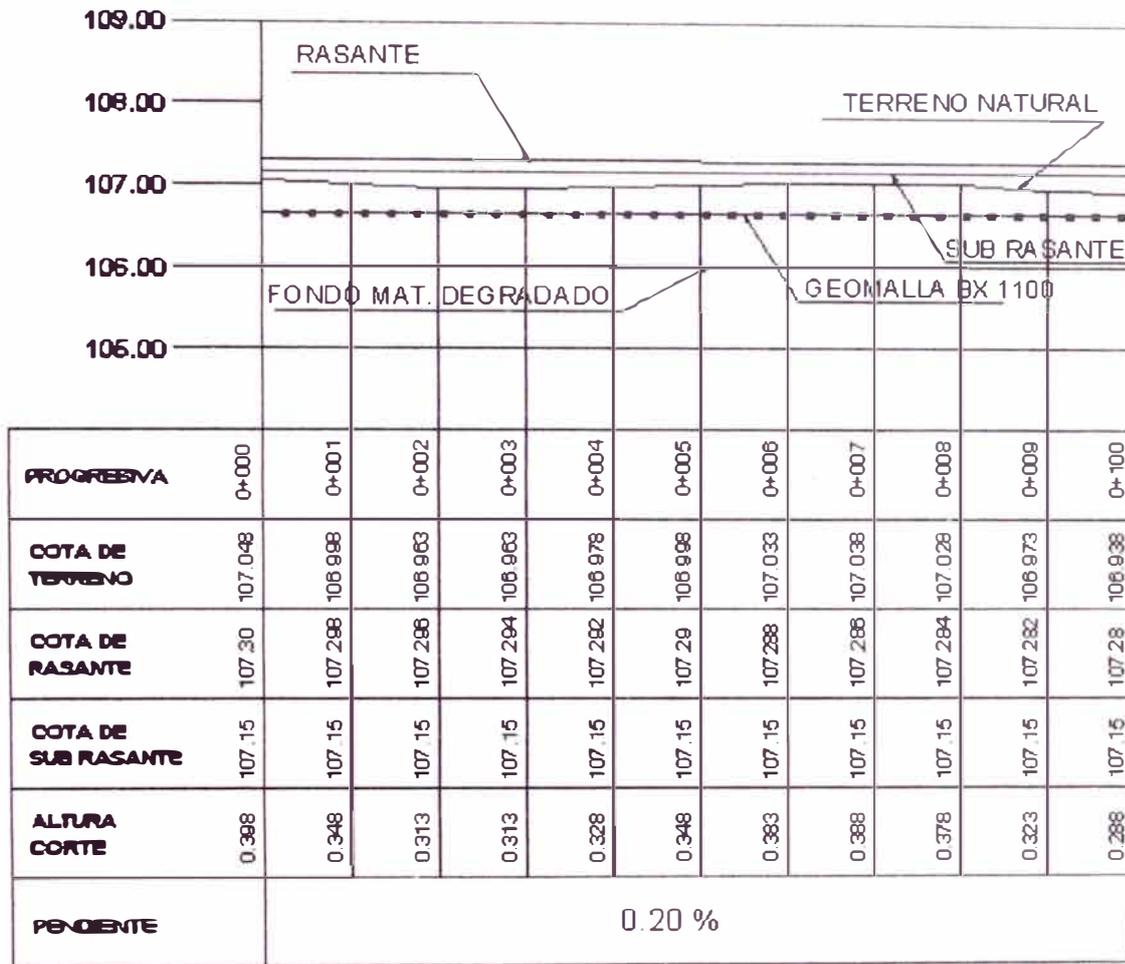


Figura 4.6 : Perfil Longitudinal

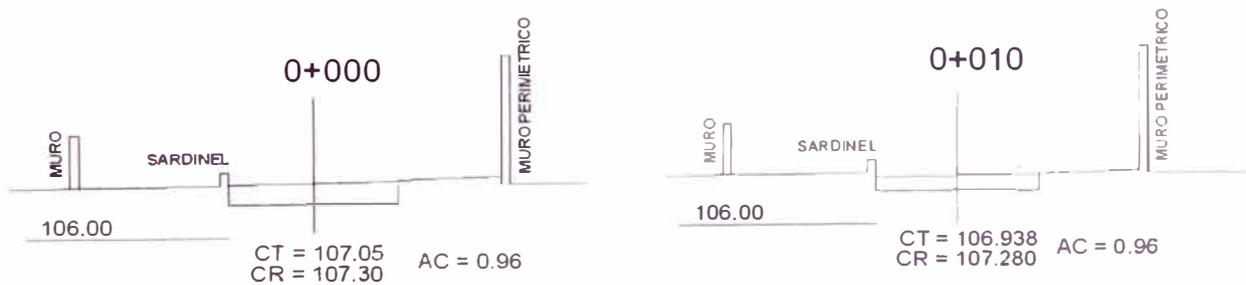


Figura 4.7 : Secciones Transversales (0+000 – 0 +010)

Nota: Son 10 secciones desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 0+100 pero como se observa la diferencia en una y otra sección es mínima ya que no hay mucha pendiente, estas secciones han sido tomadas cada 1 metro.

4.5 ENSAYOS DE LABORATORIO

4.5.1.- OBTENCION DEL CBR.- Con el suelo puesto en la zona de excavación a degradar, se tomó varias muestras para realizar diferentes tipos de compactaciones (en este caso Numero de golpes = 3, 12, 17 y 25), con el objetivo de obtener el mismo suelo con diferentes estados de compactación, para realizarse ensayos de contenido de humedad, densidad seca y CBR, como datos iniciales, y fundamentalmente realizar el ensayo con el equipo DPL (Penetrómetro Dinámico Liviano) para obtenerse datos de penetración en mm/golpe, y con estos datos realizar la correlación de valores, y obtener patrones estándares en función a las Densidad Seca, CBR y N golpes. Una vez realizada la saturación al 100% del material en campo en la zona de degradación, se realizó el ensayo in situ con el Penetrómetro Dinámico Liviano y se obtienen valores en función a la penetración mm/golpes y estos datos se tabulan con los datos obtenidos en laboratorio para obtener el CBR in situ.

Según los cálculos realizados se obtiene como resultado $CBR = 0.5 \%$, el cual se toma como parámetro para el diseño de mejoramiento de subrasante.



Figura 4.8: El material que se usará para la degradación en bandeja para ser ensayado en laboratorio de suelos.



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



Figura 4.10: Ensayo con el Penetrometro Dinámico Liviano realizado en suelos saturados a diferentes compactaciones.



Figura 4.11: Ensayo con el Penetrometro Dinámico Liviano (DPL) en el material saturado para calcular el CBR in situ.

4.6 CONSIDERACIONES PARA LA COLOCACION DE LA GEOMALLA

➤ El equipo de trabajo

El Grupo de trabajo deberá mantener en los sitios de las obras los equipos adecuados a las características y magnitud de las obras y en la cantidad requerida, de manera que se garantice su ejecución de acuerdo con los planos, especificaciones de construcción, programas de trabajo y dentro de los plazos previstos.

El grupo de trabajo deberá mantener los equipos de construcción en óptimas condiciones, con el objeto de evitar demoras o interrupciones debidas a daños en los mismos. Las máquinas, equipos y herramientas manuales deberán ser de buen diseño y construcción teniendo en cuenta los principios de la seguridad, la salud y la ergonomía en lo que tañe a su diseño. Deben tener como edad máxima la que corresponde a su vida útil. La mala calidad de los equipos o los daños que ellos puedan sufrir, no serán causal que exima al Contratista del cumplimiento de sus obligaciones.

➤ **Preparación de la superficie existente**

El material para el afirmado se descargará cuando se compruebe que la superficie sobre la cual se va a apoyar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los planos. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias admitidas en la especificación respectiva deberán ser corregidas.

➤ **Transporte y colocación del material**

El grupo de Trabajo deberá transportar y depositar el material de modo, que no se produzca segregación, ni cause daño o contaminación en la superficie existente.

Durante esta labor se tomarán las medidas para el manejo del material de afirmado, evitando los derrames de material y por ende la contaminación de fuentes de agua, suelos y flora cercana al lugar.

Durante esta actividad se tomarán las medidas durante la extensión, mezcla y conformación del material, evitando los derrames de material que pudieran contaminar fuentes de agua, suelos y flora cercana al lugar.

➤ **Colocación de geomalla traslapada**

Colocar las geomallas, cortar las bandas de los rollos y desenrollarlas encima de la superficie preparada. En aplicaciones para mejorar la subrasante, esta superficie será siempre la subrasante.

En los caminos, desenrollar la geomalla en la dirección del tráfico, de modo que el eje largo del rollo este paralelo con el eje de la vía. Como alternativa, para subrasantes muy blandas ($CBR \leq 1/2$), tal vez sea preferible desenrollar la geomalla transversalmente, o sea, en forma perpendicular a la alineación del terraplén del camino, especialmente si hay inquietudes sobre el desplazamiento lateral y la separación de los traslapes.

➤ **Compactación**

Cuando el material tenga la humedad apropiada, se compactará con el equipo aprobado hasta lograr la densidad especificada. En áreas inaccesibles a los rodillos, se usarán apisonadores mecánicos hasta lograr la densidad requerida con el equipo que normalmente se utiliza, se compactarán por los medios adecuados para el caso, en forma tal que las densidades que se alcancen, no sean inferiores a las obtenidas en el resto de la capa.

La compactación se efectuará longitudinalmente, comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro, traslapando en cada recorrido un ancho no menor de un tercio (1/3) del ancho del rodillo compactador. En las zonas peraltadas, la compactación se hará del borde inferior al superior.

No se extenderá ninguna capa de material, mientras no se haya realizado la nivelación y comprobación del grado de compactación de la capa precedente.

En esta actividad se tomarán los cuidados necesarios para evitar derrames de material que puedan contaminar las fuentes de agua, suelo y flora cercana al lugar de compactación.

4.7 VERIFICACION Y CONTROL EN CAMPO DE LA GEOMALLA EN LAS VIAS .

➤ **Controles**

Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo aceptado como resultado de los tramos de prueba en el caso de subbases y bases granulares o estabilizadas.

Ejecutar ensayos de compactación en el laboratorio.

Verificar la densidad de las capas compactadas efectuando la corrección previa por partículas de agregado grueso, siempre que ello sea necesario. Este control

se realizará en el espesor de capa realmente construido de acuerdo con el proceso constructivo aplicado.

Tomar medidas para determinar espesores y levantar perfiles y comprobar la uniformidad de la superficie.

Vigilar la regularidad en la producción de los agregados de acuerdo con los programas de trabajo.

Vigilar la ejecución de las consideraciones ambientales incluidas en esta sección para la ejecución de obras de subbases y bases.

➤ **Calidad de los agregados**

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto se tomarán muestras con las frecuencias que se indican.

Los resultados deberán satisfacer las exigencias indicadas de esta especificación.

Durante la etapa de producción, el Supervisor examinará las descargas a los acopios y ordenará el retiro de los agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado.

➤ **Calidad del producto terminado**

La capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las dimensiones, rasantes y pendientes establecidas en el Proyecto. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la berma no será inferior a la señalada en los planos o la definida por el Supervisor. Este, además, deberá efectuar las siguientes comprobaciones:

a).-Compactación

Las determinaciones de la densidad de la capa compactada se realizarán de acuerdo a lo indicado y los tramos por aprobar se definirán sobre la base de un

mínimo de determinaciones de densidad. Los sitios para las mediciones se elegirán al azar.

Las densidades individuales (D_i) deben ser, como mínimo el cien por ciento (100%) de la obtenida en el ensayo Próctor modificado de referencia (MTC E 115).

$$D_i > \% D_e$$

La humedad de trabajo no debe variar en $\pm 2.0 \%$ respecto del Optimo Contenido de Humedad obtenido con el Próctor modificado. Para Subbase se admite como máximo ± 1.5

En caso de no cumplirse estos términos se rechazará el tramo. Siempre que sea necesario se efectuarán las correcciones por presencia de partículas gruesas, previamente al cálculo de los porcentajes de compactación.

La densidad de las capas compactadas podrá ser determinada por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo MTC E 117, MTC E 124.

b).- Espesor

Sobre la base de los tramos escogidos para el control de la compactación, se determinará el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no podrá ser inferior al de diseño (e_d).

$$e_m > e_d$$

Además el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) deberá ser, cuando menos, igual al noventa y cinco por ciento (95 %) del espesor del diseño.

$$e_i > 0.95 e_d$$

Todas las áreas de afirmado donde los defectos de calidad y terminación sobrepasen las tolerancias de la presente especificación, deberán ser corregidas por el Contratista, a su costo, de acuerdo con las instrucciones del Supervisor.

CAPITULO V: NORMAS Y ENSAYOS PARA LA SUPERVISION DE OBRAS

En este capítulo nos enfocaremos en hacer un control para verificar la calidad de la geomalla una vez instalada en la vía , si es que se hizo la instalación adecuada y el producto cumple con los requerimientos de calidad de fabricación .

5.1 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA GEOMALLA BIAIXIAL

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

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

- La geomalla consistirá 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 norma ASTM D1238 o con poliéster de alta densidad (PET) de acuerdo a la norma GRI:GG7 y GG8. No se permitirán cambios en las propiedades físicas requeridas o los medios de evaluación de estas propiedades.
- La certificación será previa a la construcción, el proveedor suministrará al cliente o a la Interventoría la certificación del fabricante en donde diga que la geomalla ha sido evaluada en planta ampliamente con las exigencias propuestas y se ajusta a las condiciones de uso a largo plazo (75 años de vida de diseño) , en aplicaciones de refuerzo de suelos. El paquete que el vendedor suministrará debe incluir, sin limitarse a ello, resultados de pruebas recientes de tensión / comportamiento al CREEP

por tensión, durabilidad/ longevidad, daños por construcción, resistencia en juntas, pruebas de control .

- La geomalla para refuerzo en terraplén y estructura granular de pavimento, deberá proporcionar las siguientes propiedades mínimas admisibles.

Tabla 5.1: Propiedades mínimas admisibles para el refuerzo en terraplén y estructura granular de pavimento.

| PROPIEDAD | METODO EXIGIDO | TIPO DE GEOMALLA |
|--------------------------|---------------------|---|
| Resistencia a la tensión | FHWA/SA-96-071 | |
| Ta, lb/pie (Kn/m) | | 3.800 lbs/pie (5.65 KN/m) |
| Ta, lb/pie (Kn/m) | | 400 lbs/pie (0.60 KN/m) |
| En donde | $T_a = T_{ult}/FR;$ | $FR = FR_{DI} \times FR_{CR} \times FR_D$ |

T_a = Resistencia a la tensión admisible para propósito de diseño.

T_{ult} = Resistencia a la tensión última obtenida del ensayo estándar de tensión de muestra ancha.

FR = Factor de reducción mínimo .

FR_{DI} = Factor de reducción por daños de instalación.

FR_{CR} = Factor de reducción para evitar deformación por carga sostenida durante la vida útil de la estructura.

FR_D = Factor de reducción por durabilidad

- Para todos los tipos de geomalla el porcentaje de área abierta deber ser \geq de 50% y \leq 80%, de acuerdo con la exigencias de la normas .
- Todas las geomallas tendrán una resistencia mínima de unión (resistencia en las juntas) de 40 lbs (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) y cumplir los requerimiento de resistencia de la AASHTO M-288-96.

- Todas las geomallas deben tener una rigidez flexional de 30.000 mg-cm de acuerdo con la ASTM D1388. Si esta condición no se cumple, se atenderá a las recomendaciones especiales de construcción para fijación de geomallas en el sitio, indicadas por la Interventoría, con la asesoría del productor.
- 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. Si este criterio no se cumple entonces el mínimo FR_D será de 1.6.
- La geomalla PET deberá contar con un peso molecular (M_n) ≥ 25.000 g/mol, medido de acuerdo con GRI: GG8 y un grupo final carboxilo (CEG) ≤ 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 $FR_D = 2.0$.
- Las geomallas de alta densidad (HDPE) deberán contar con un valor de índice de flujo a la fusión del polietileno ≥ 0.88 , de acuerdo con ASTM D1238. Si la geomalla HDPE no cumple con este criterio se deberá utilizar un mínimo de $FR_D = 2.0$.
- Tulf, 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 para geomallas).
- FR_{CR} factor de reducción por CREEP durante la vida útil de la estructura, deberá ser determinada de acuerdo con la FHWA SA-96-071, (ver la Tabla 1), 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 FR_{CR} será de 5.0 para la HDPE y de 2.5 para la PET.
- FR_{DI} , 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 Tamaño. Máx 1½". El ensayo se realizará de acuerdo con la ASTM D5818. Si esta prueba no se ha realizado se debe utilizar con $FR_{DI} = 3.0$. Como mínimo el valor de FR_{DI} será de 1.1.
- FR_D , Factor de Reducción por durabilidad, correspondiente a un factor parcial combinado para la degradación biológica y química. El mínimo valor de FR_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 |

Coeficiente de Inter-acción del suelo – geomalla (resistencia a la extracción = (Anclaje) = C_i). Este valor se debe determinar a partir de las pruebas de adherencia de acuerdo con el procedimiento GRI: GG5. La fuerza máxima de extracción que se utilice para determinar C_i se debe limitar al menor valor de T_a o la fuerza que produzca una elongación de 1.5 pulg (38.1mm). El valor mínimo de C_i en arena será de 0.9, cuando el valor de C_i se obtiene como sigue:

$$C_i = \frac{F.L.Pn'.tg\phi'}{2}$$

Siendo:

F = Capacidad se anclaje por unidad de ancho en lbs/pie (KN/m)

C_i = Coeficiente de interacción suelo –geomalla (adimensional)

L = Longitud de empotramiento de la geomalla en el ensayo ft (m)

P_n' Esfuerzo normal efectivo en la geomalla en un rango de 500 a 1.000 psf. (3.45 – 6.90 Kpa).

ϕ' = Angulo de fricción efectiva del suelo en grados. ($\phi = 30^\circ$)

- Controlar 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.
- Exigir las pruebas específicas solicitadas para el producto $FR = RF_{CR} \times FR_D \times FR_{DI}$, y cuando no se hayan realizado o sean insuficientes, el factor de reducción mínimo FR debe ser 7.0, de tal forma que:

$$T_a = \frac{T_{ult}}{7.0}$$

5.2 ENSAYOS Y TOLERANCIAS DE LA GEOMALLA MINIMAS NECESARIAS

La calidad de la geomalla deberá haber sido comprobada mediante ensayos de:

- Capacidad de carga dinámica, mediante la resistencia a la tracción al 5% de deformación.
- Capacidad de carga sostenida/integridad estructural, mediante ensayos de resistencia en las juntas.
- Las geomallas serán fabricadas a partir de resinas de polímeros de alto peso molecular y deben cumplir las siguientes propiedades:

Tabla 5.2: Tabla de ensayos y tolerancias de la geomalla mínimas necesarias.

| CARACTERISTICAS | DIRECCION PRINCIPAL (MD) | DIRECCION TRANSVERSAL (XD) |
|---|---|----------------------------|
| Resistencia a la tensión al 5% de la deformación (kN/m) | 8,46 | 13,42 |
| Esfuerzo en las juntas (KN/m) | 11,2 | 17,1 |
| Rigidez flexional (x 1000 mg-cm) | 250 | 250 |
| Rigidez torsional (cm-kg/deg) | 3,2 | 3,2 |
| Modulo de tensión inicial (KN/m) | 204,5 | 328,5 |
| Composición última a largo plazo (KN/m) | NA | NA |
| Composición del producto | Polipropileno de alta densidad resistencia a esfuerzos (SRPP) con protección UV (ASTM 4218) | |
| Tipo de producto | Geomalla estructural formada integral | |
| Mecanismo de transferencia de cargas | Entrelazamiento mecánica positivo | |

5.3 CONSIDERACIONES DE LA GEOMALLA PARA LOS ENSAYOS

- Someter a ensayo muestra del producto de geomalla de 4 pulgadas por 7 pulgadas aproximadamente o de un tamaño mayor.
- Exigir ficha técnica de la geomalla y certificación del fabricante de que el producto suministrado cumple con los requisitos mencionados en la tabla 1.
- Pruebas in-situ y laboratorio de estructuras pavimentadas reforzadas con la geomalla específica que cuantifica el TBR de la geomalla a la estructura pavimentada. El TBR debe ser igual o superior al de la geomalla del diseño.
- Resultados certificados independientes de pruebas que declaren que la geomalla alternativa muestra un módulo de estabilidad de abertura a 20 cm-Kg.

La Geomalla de refuerzo de suelo estructural debe estar formada y debe utilizarse íntegramente como una capa simple con las siguientes características:

Tabla 5.3: Todos los valores son valores mínimos promedio de rollo (MARV) a menos que se indique un rango o característica:

| <i>Propiedad</i> | <i>Método de prueba</i> | <i>Unidades</i> | <i>Tipo IDH_FT13</i> | <i>Tipo 2IDH_FT14</i> |
|--|-------------------------------|------------------|------------------------|------------------------|
| Módulo de estabilidad de abertura 20 cm-kg | Kinney - 01 | cm-kg grado | 3.2 | 6.5 |
| Forma de la costilla IDH_FT16 | Observación | No corresponde | Rectangular o cuadrada | Rectangular o cuadrada |
| Espesor de la costilla IDH_FT17 | Medición | pulgadas (mm) | 0.03 (0.76) | 0.05 (1.27) |
| Tamaño nominal de abertura IDH_FT18 | Medición de diámetro interior | pulgadas (mm) | 1 a 1.5 (25 a 33) | 1 a 1.5 (25 a 33) |
| Eficiencia de las uniones IDH_FT19 | GRI-GG2-87 | % | 93 | 93 |
| Rigidez a la flexión IDH_FT20 | ASTM D1388-96 | mg-cm | 250,000 | 750,000 |
| Módulo mínimo inicial real en uso IDH_FT21 | ASTM D6637-01 | | | |

5.4.- METODOS Y ENSAYOS DE LA ASTM Y DE LA GRI

5.4.1.- ASTM Sociedad Americana de Ensayos de Materiales.

D 1238 Índice de Flujo a la fusión (HDPE – Polietileno de alta densidad.)

D 1388 Método A: Ensayo en cantiliver de la rigidez a la flexión de los textiles (rigidez flexional).

D 43 55 Práctica de muestreo de geosintéticos para ensayo .

D 45 95 Método de ensayo de propiedades a la tensión de geotextiles por el método de la tira ancha (modificado para geomallas).

D 52 62 Método de ensayo normal para determinar la tensión inconfiada del comportamiento al CREEP por tensión de los geosintéticos.

D 58 18 Prácticas para obtener resultados geosintéticos de una sección de ensayo para evaluar el daño de instalación.

5.4.2.- GRI Instituto de Investigación de Geosintéticos

GG2 Método de ensayo normal de la resistencia en la unión (junta) de la Geomalla .

GG5 Método de ensayo normal para determinar la resistencia a la tracción.

GG7 Grupo final carboxilo (CEG) de las fibras de poliéster de alta tenacidad (PET).

GG8 Determinación del número promedio del peso molecular de las fibras de poliéster de alta tenacidad con base en un valor de viscosidad relativa.

5.5 NOTAS GENERALES

- El proveedor de la geomalla, para verificar y certificar la calidad de su producto, deberá realizar los ensayos exigidos en un laboratorio certificado ante la presencia del Interventor y de un representante.
- Las geomallas poliester (PET), sean estas protegidas con recubrimiento o nó, no serán aprobados en medios altamente ácidos ($\text{pH} > 9$) ni en medios alcalinos, incluyendo suelos tratados en cemento, cal, triturado calcareo o suelos potencialmente expuestos al lechados de cemento, cal o sustancias salinas, los cuales generan su degradación química. El procedimiento para determinar la resistencia o la degradación por agentes químicos se hará con las normas ASTM D 5322 y ASTM D 5496.
- Las mallas de polietileno y de polipropileno, deben contar con los tratamientos 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. Se atenderá a los ensayos ASTM D 4355 o ASTM D 5208.

CONCLUSIONES

- La función principal de la geomalla es de 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. No se permitirán cambios en las propiedades físicas requeridas o los medios de evaluación de estas propiedades.
- Al hacer un pedido de geomallas se pedirá certificados de control de calidad, donde diga que la geomalla ha sido evaluada en planta ampliamente con las exigencias de las normas y se ajusta a las condiciones de uso a largo plazo (75 años de vida de diseño), en aplicaciones de refuerzo de suelos.
- Todos las geomallas tendrán una resistencia mínima de unión (resistencia en las juntas) de 40 lbs (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) y cumplir los requerimientos de resistencia de la AASHTO M-288-96.
- El proveedor de la geomalla, para verificar y certificar la calidad de su producto, deberá realizar los ensayos exigidos en un laboratorio certificado ante la presencia del Interventor y de un representante .
- Las geomallas de alta densidad (HDPE) deberán contar con un valor de índice de flujo a la fusión del polietileno ≥ 0.88 , de acuerdo con ASTM D1238. Si la geomalla HDPE no cumple con este criterio se deberá utilizar un mínimo de $FR_D = 2.0$.
- 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.

RECOMENDACIONES

- El almacenamiento de la geomalla deberá ser en lugares donde no se produzca un contacto excesivo con lodo , hormigón húmedo u otro material nocivo o que estos queden adheridos a ella .
- Las geomallas deben almacenarse a temperaturas mayores a -29° C y no deben manipularse a temperaturas menores de -10° C.
- Se recomienda hacer un traslape mínimo de 30 cm, dependiendo del tipo de resistencia al suelo (CBR) los traslapes varían de 30 a 90 cm .
- Si la geomalla se daña durante o después de la instalación, se recomienda quitar el relleno de la superficie de la geomalla dañada y despejar un área de un metro de diámetro alrededor del daño, el parche de la geomalla debe cubrir el área dañada y extenderse 1 metro más allá de la misma en todas las direcciones.
- Desenrollar la geomalla de tal manera que quede alineada y tirar de ella hasta que quede tensa , eliminando las arrugas y luego asegurarla con grapas , arandelas o clavijas.
- Se si usa agregados de gran tamaño pobremente graduados y equipos de construcción pesados, la geomalla puede perder hasta 30% de su resistencia debido a los daños, se recomienda colocar un colchón de arena adyacente a la geomalla para minimizar estos daños.
- No manejar equipos con orugas directamente encima de las Geomallas, asegurarse de que haya al menos 15 cm de relleno entre la geomalla y el equipo.
- Se recomienda pedir al proveedor certificados de control de calidad, donde indique los ensayos y pruebas a las que fueron sometidos las geomallas, antes de ser usadas en obra.

BIBLIOGRAFIA

- CESPEDES ABANTO JOSE, Los Pavimentos en las Vías Terrestres Edición N° 01, Cajamarca – Perú, 2002.
- 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).
- 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, Bogotá D.C. – Colombia, 2006
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, Curso de Titulación por Actualización de Conocimientos, Aplicación de Geosintéticos en Obras de Ingeniería Civil, 2006 – 2007.
- www.tensarcorp.com
- www.tdm.com.pe

ANEXOS

PANEL FOTOGRAFICO



Figura 1: Zona de trabajo en donde se aplicará la geomalla Biaxial BX 1100.
Se realizó excavación para colocar material con baja capacidad portante



Figura 2: Personal zarandeando el material para ser usado como suelo de fundación.



Figura 3: Personal colocando el material zarandeado en zona excavada. Se aprecia el revestimiento de plástico a usarse como impermeabilizante



Figura 4: Plantillas ubicadas en la zona, para el nivelado del suelo a degradar, el nivel de referencia se ubica en el lado izquierdo.



Figura 5: El material que se usara para la degradación en bandeja para ser ensayado en Laboratorio de suelos.



Figura 6: Material nivelado a degradar..



Figura 7: Proceso de saturación del material zarandeado, de acuerdo a los cálculos de gabinete y ensayos de suelos realizados.



Figura 8: Material saturado al 100%



Figura 9: Material para la conformación de la plataforma (terraplén)

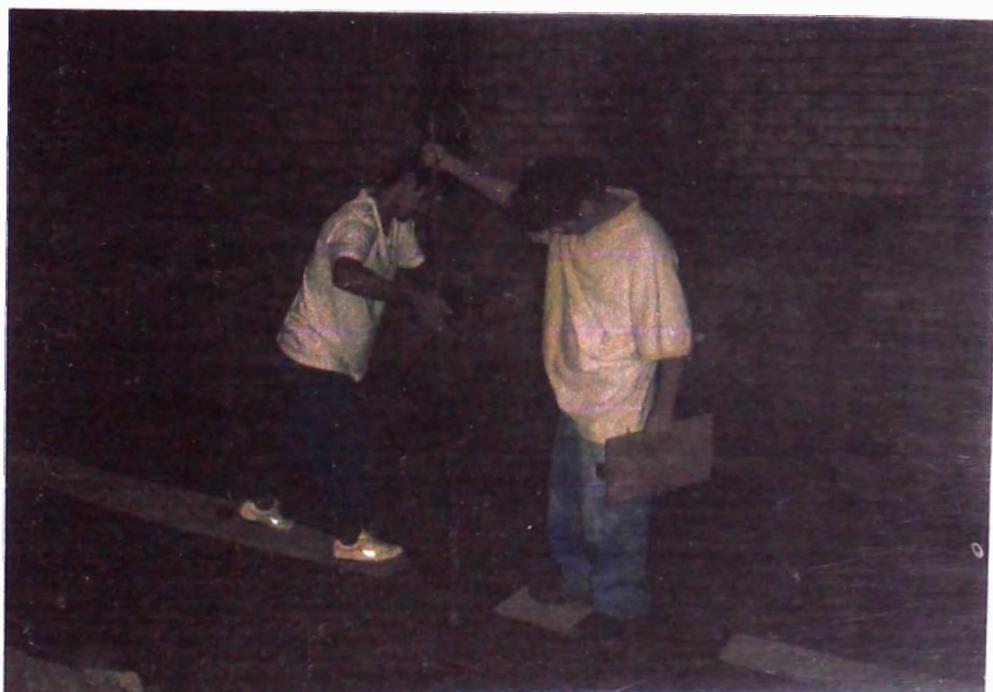


Figura 10: Ensayo con el Penetrometro Dinámico Liviano (DPL) en el material saturado para calcular el CBR in situ.



Figura 11: Ensayo con el Penetrometro Dinámico Liviano realizado en suelos saturados a diferentes compactaciones.



Figura 12: Material sometido a compactación en gabinete y saturación al 100% para ensayarse con el DPL



Figura 13: Aplicación de la geomalla Biaxial BX 1100 para mejoramiento de subrasante

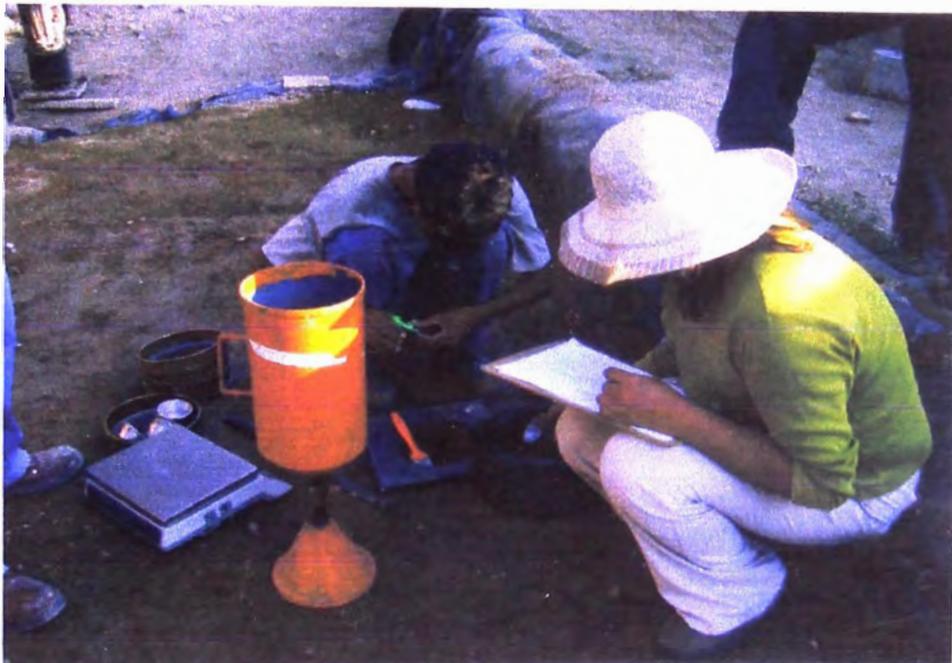


Figura 14: Una vez acabado la obra se procedió a sacar pruebas de densidad de campo mediante el cono de arena para hallar el grado de compactación estando en un 92%.

PLANOS

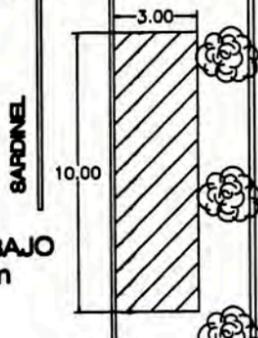
N



SECTOR K

LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA

MURO PERIMETRO



ZONA DE TRABAJO 10.00m x 3.00m

INGRESO

SECTOR J

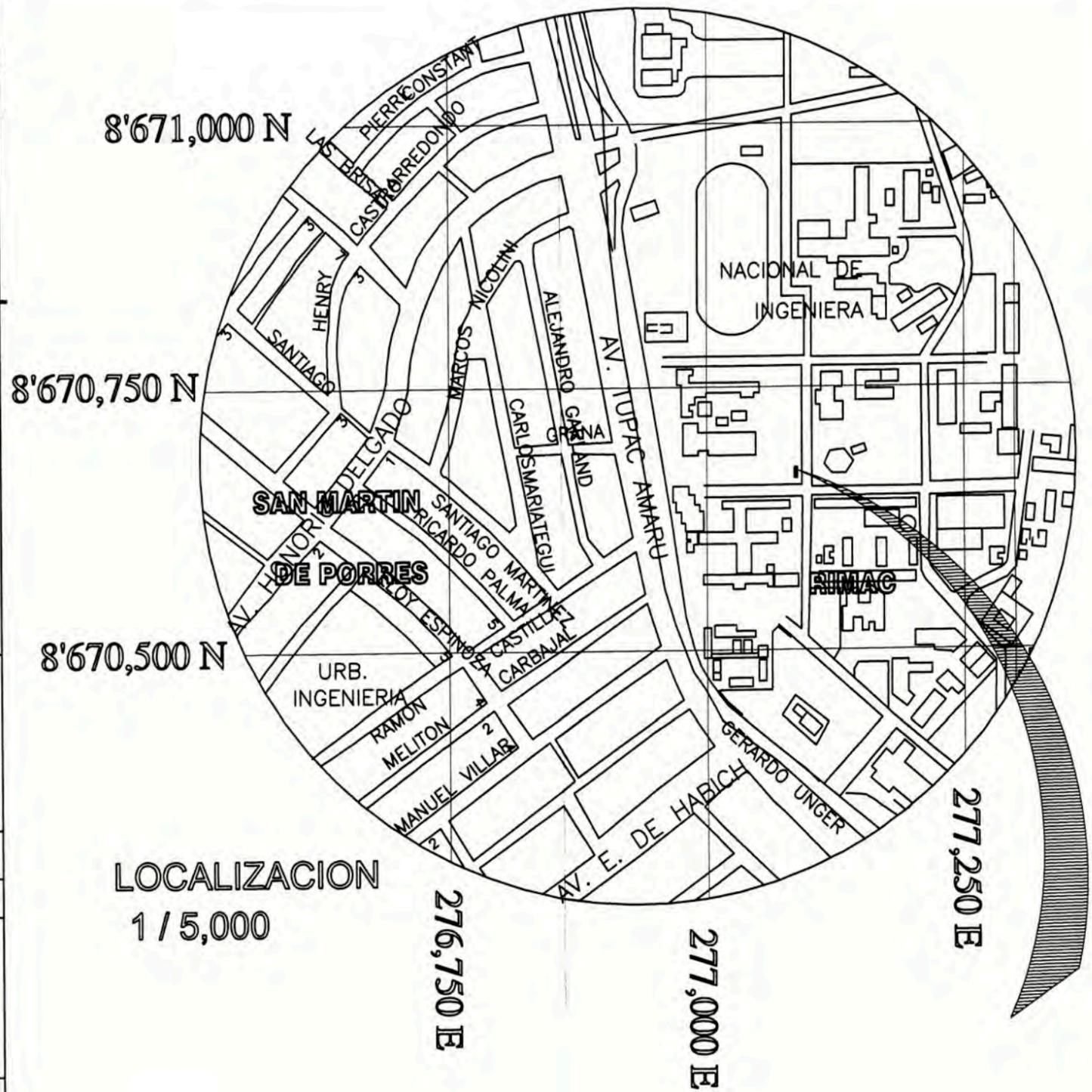
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

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

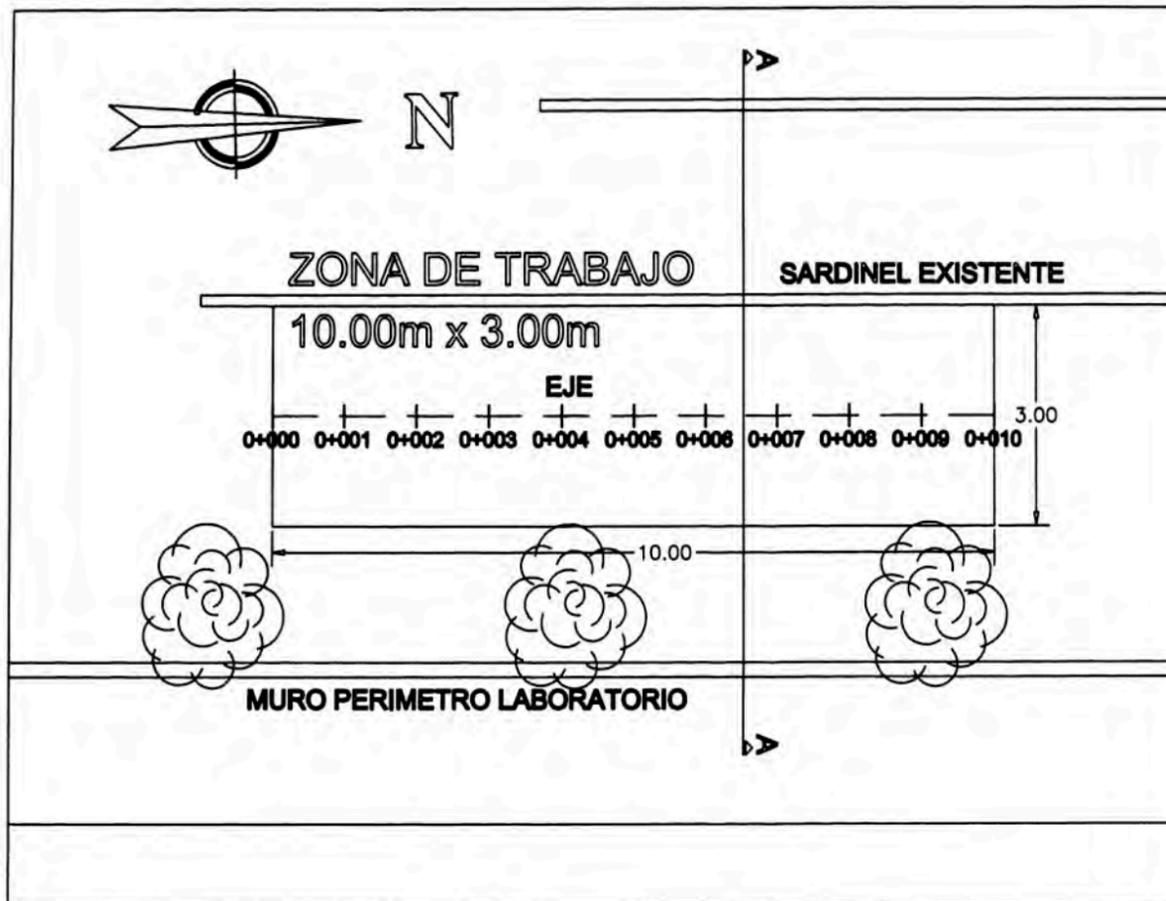
LOCALIZACION 1 / 5,000

276,750 E

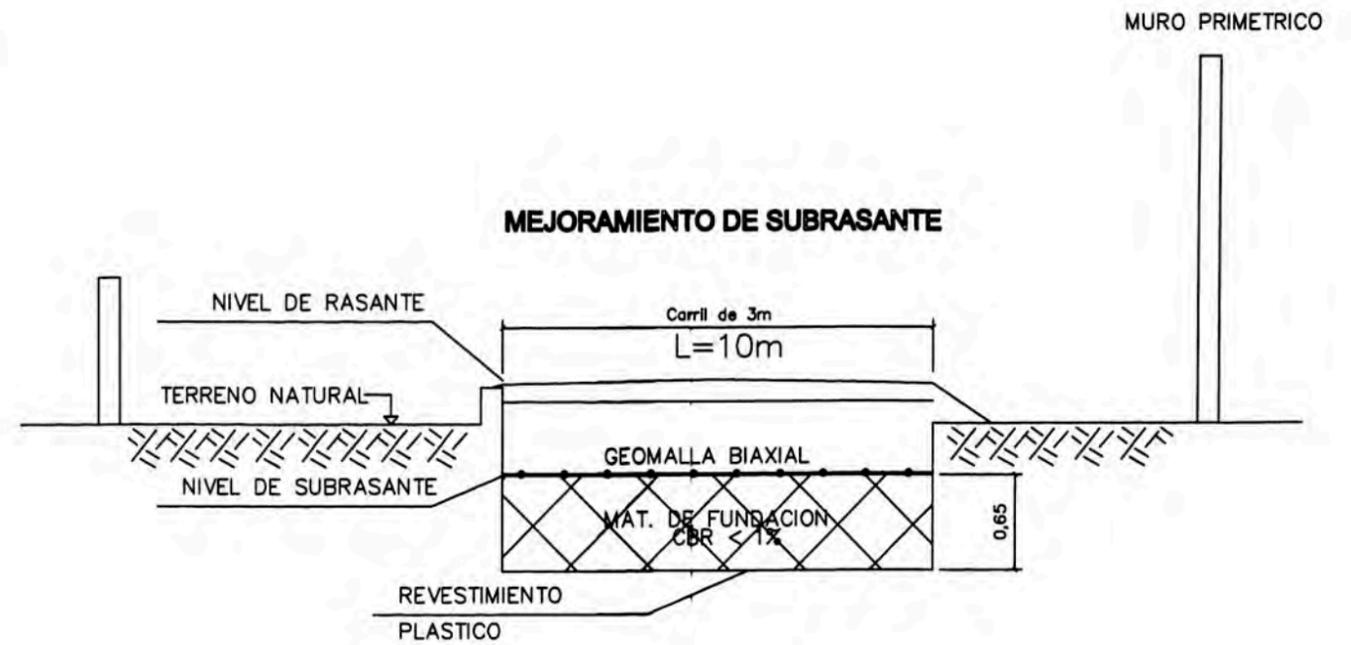
277,000 E

277,250 E

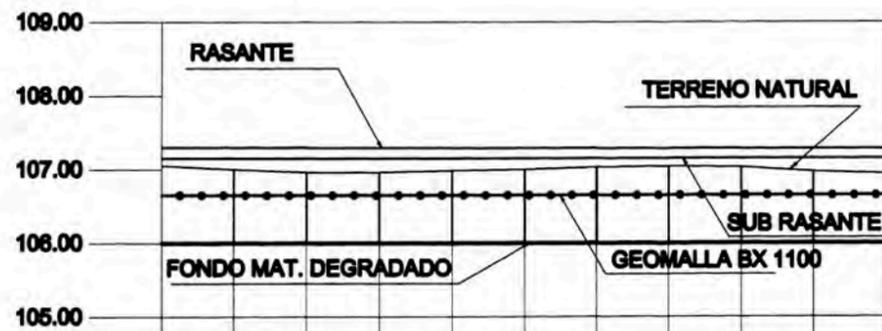
| | | | |
|--|------------------|-------------------|--|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA CURSO DE TITULACION POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS APLICACION DE GEOSINTETICOS EN OBRAS DE INGENIERIA CIVIL | | | |
| PROYECTO: APLICACION DE GEOMALLAS EN VIAS AFIRMADAS | | | |
| TITULACION: UBICACION - LOCALIZACION | | | PLANO N°: U-01 |
| AUTORES: CABRERA CASTILLO, EDWARD HERNANDEZ ALEJOS, PAOLO HUAMAN TIÑO, CARLOS MALDONADO VALENZUELA, MIRYAM OCAÑA MELIA, RENATO | | GRUPO: GRUPO N° 4 | UBICACION: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - SECTOR K |
| COR: CBR | FECHA: MAYO 2007 | ESCALA: INDICADA | |



PLANTA
1 / 100



CORTE A - A
1 / 50



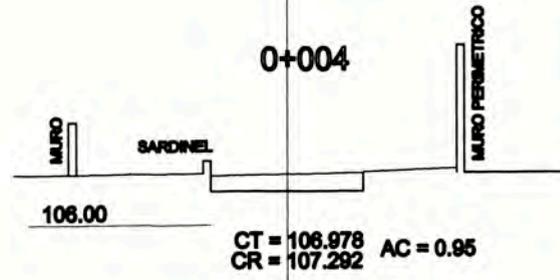
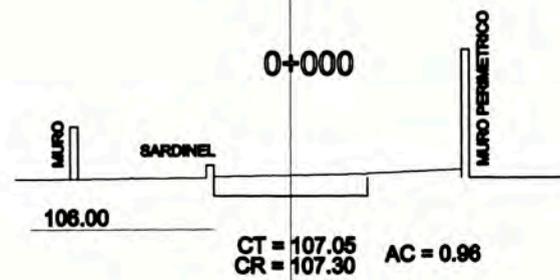
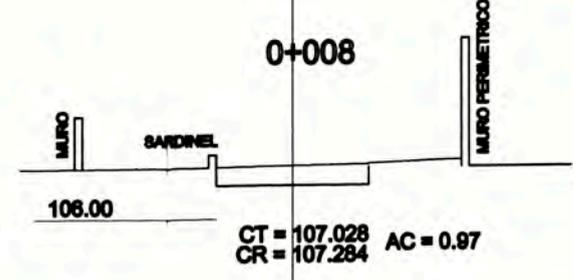
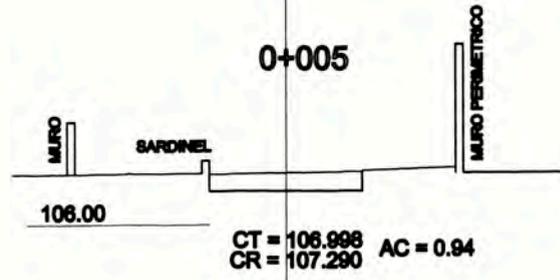
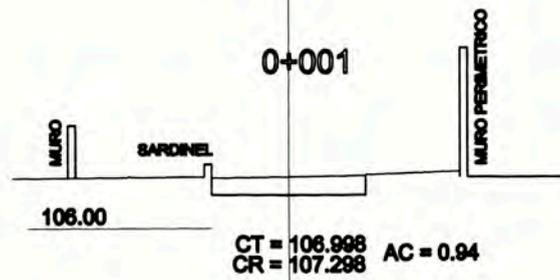
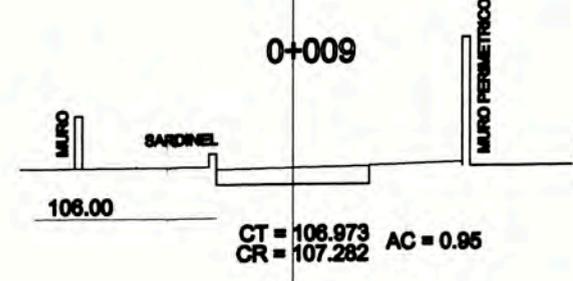
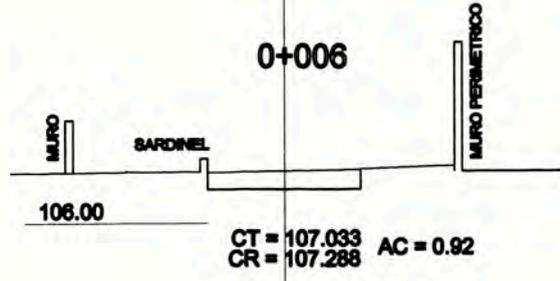
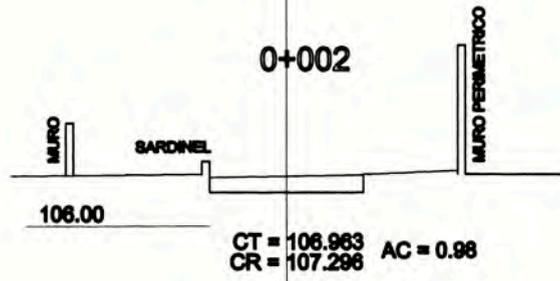
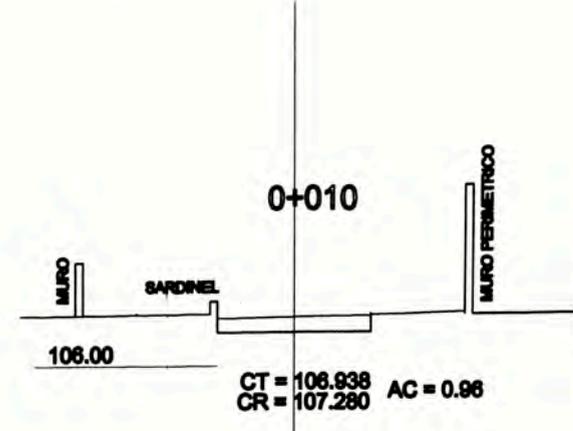
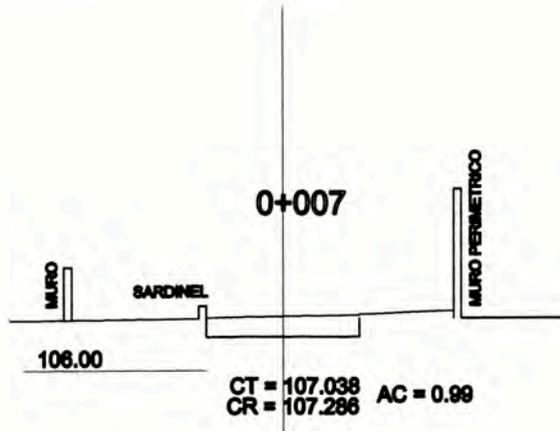
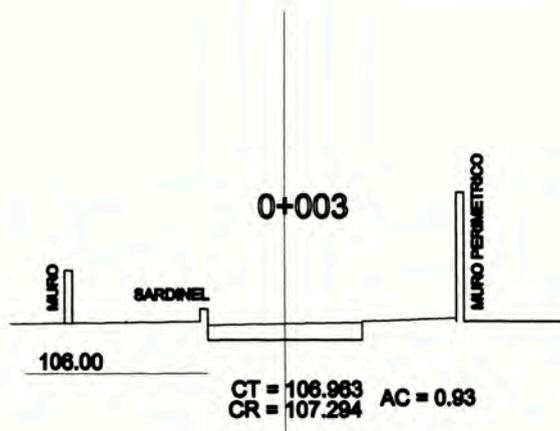
| PROGRESIVA | 0+000 | 0+001 | 0+002 | 0+003 | 0+004 | 0+005 | 0+006 | 0+007 | 0+008 | 0+009 | 0+100 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| COTA DE TERRENO | 107.246 | 108.998 | 108.998 | 108.998 | 108.978 | 108.998 | 107.033 | 107.008 | 107.028 | 108.973 | 108.998 |
| COTA DE RASANTE | 107.20 | 107.298 | 107.298 | 107.294 | 107.292 | 107.29 | 107.298 | 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 | 0.396 | 0.348 | 0.313 | 0.313 | 0.328 | 0.348 | 0.393 | 0.398 | 0.378 | 0.323 | 0.288 |
| PENDIENTE | 0.20 % | | | | | | | | | | |

PERFIL LONGITUDINAL

H = 1 / 100
V = 1 / 100

| LEYENDA | |
|---------|------------|
| — — — | EJE DE VIA |
| 0+009 | PROGRESIVA |

| | | |
|---|-------------------------|--------------------------|
| 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 Nº: P-01 |
| AUTORES: CARRERA CASTILLO, EDWARD HERRERA ALEJOS, PAOLO HUAMANI TINCO, CARLOS MALDONADO VALENZUELA, MIRYAM OCAÑA MEJIA, RENATO | | GRUPO: GRUPO Nº 4 |
| UBICACION: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - SECTOR K | | |
| AUTOCAD: CBR | FECHA: MAYO 2007 | ESCALA: INDICADA |



| | | | |
|--|--|--|------------------|
| 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: | | SECCIONES TRANSVERSALES (0+000 - 0+010) | |
| PARTICIPANTES: | | GRUPO: GRUPO Nº 4 | |
| CABRERA CASTILLO, EDWARD | | UBICACION: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - SECTOR K | |
| HERRERA ALEJOS, PAOLO | | | |
| HUAMANI TINCO, CARLOS | | | |
| MALDONADO VALENZUELA, MIRYAM | | | |
| OCAÑA MEJIA, RENATO | | AUTOCAD: CBR | FECHA: MAYO 2007 |
| | | ESCALA: H = 1/200 | V = 1/200 |

P-02

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DEL MATERIAL DEGRADADO

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DEL MATERIAL DEGRADADO

Para el calculo se aplicara la teoría de Boussinesq.

Consideraciones del calculo :

- Se tiene un equipo de peso 5 toneladas.
- Presión de inflado de 80 PSI = 551 Kpa
- Un CBR = 0.5%

Interpolamos los valores de CBR (%) y Cu (KB), debido a que tenemos la siguiente tabla :

Información de TDM (exposición de clase) del sistema Geoweb de soporte de carga .



EL SISTEMA ^{TouchUp Text Tool (T) B®} DE SOPORTE DE CARGA ASPECTOS TECNICOS

| Relación de Soporte de California CBR (%) | Resistencia al Corte sin Drenaje c _u kPa (psi) | Resistencia Normal a la Penetración SPT (golpes/pie) | Identificación de Campo |
|--|--|---|--|
| < 0.4 | < 11.7 (1.7) | < 2 | Muy blando (se estira entre los dedos al presionarlo) |
| 0.4 - 0.8 | 11.7 - 24.1 (1.7) (3.5) | 2 - 4 | Blando (moldeable con una ligera presión de los dedos) |
| 0.8 - 1.6 | 24.1 - 47.6 (3.5) - (6.9) | 4 - 8 | Mediano (moldeable con una fuerte presión de los dedos) |
| 1.6 - 3.2 | 47.6 - 95.8 (6.9) (13.9) | 8 - 15 | Rigido (fácilmente marcado por el pulgar pero difícil de penetrar) |
| 3.2 - 6.4 | 95.8 - 191 (13.9) - (27.7) | 15 - 30 | Muy rígido (fácilmente marcado por la uña del pulgar) |
| > 6.4 | > 191 (27.7) | > 30 | Duro (difícil de marcar con la uña del pulgar) |

El espesor total de pavimento granular requerido con el sistema Geoweb de confinamiento celular es función de la profundidad de las celdas de Geoweb, de la distancia a la que están colocadas debajo de la carga aplicada, de la carga de rueda y la presión de las llantas, y de las propiedades del material de relleno. El esfuerzo superficial (eso es, la presión de contacto de las ruedas) se distribuye tanto vertical

De la tabla se tiene que para un CBR de 0.4% tenemos un Cu 11.7 KB y para un CBR de 0.8% tenemos 24.1 KB, interpolando tenemos que para un CBR DE 0.5% tenemos **14.8KB**.

Considerando que es un bajo volumen de tránsito, muchos baches – según las normas U.S Forest Service) el número estructural es $N_c = 3.3$

1.- Cálculo de la capacidad de carga de suelo natural .

$$q_a = C_u \times N_c = (14.8)(3.3) = 48.84 \text{ Kpa}$$

2.- Cálculo del espesor del suelo q -admisibles

$$Z_u = \frac{R}{\sqrt{\left(1 - \frac{q_a}{p}\right)^{2/3} - 1}} \dots\dots\dots (1)$$

$$R = \sqrt{\frac{P}{p \times \Gamma}} \dots\dots\dots (2)$$

Reemplazando valores para hallar el radio de rodadura R en (2)

- Peso = 5tn
- Presión de inflado = 80 Psi = 551 Kpa

Se tiene un radio de rodadura **$R = 0.16 \text{ m}$**

Ahora hallamos la profundidad máxima hasta donde actúa el esfuerzo de la carga de 5tn.

- Para $R = 0.16 \text{ m}$
- Carga admisible $q_a = 48.84 \text{ Kpa}$
- Presión inflado = 551 Kpa .

Entonces reemplazando en (1)

Tenemos el valor de profundidad hasta donde actúa q_a , **$Z_u = 0.65 \text{ m}$**

Nota: Por lo tanto concluimos que para un peso de 5 toneladas que es la carga de tránsito o carga admisible, para una presión de inflado de 80 Psi y un CBR del suelo de 0.5% se tiene que el valor de esa carga actúa hasta un nivel de 0.65 m, es decir que por debajo de este valor el esfuerzo es mínimo.

Pero para mayores cargas los esfuerzos transmitidos sobrepasarán los 0.65 mts.

ENSAYOS DE LABORATORIO



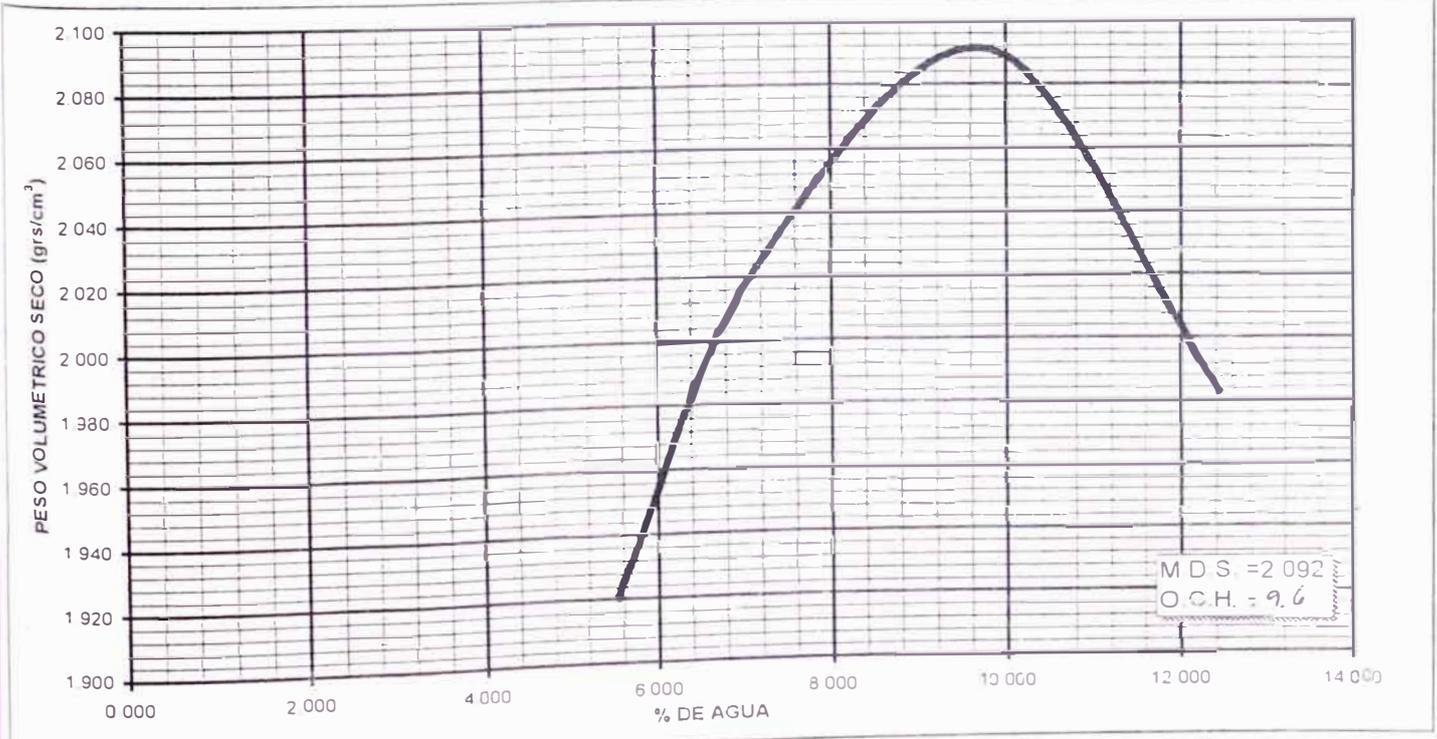
LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA
AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



ENSAYO DE COMPACTACION
ASTM D-1557

YECTO: Mejoramiento Estructural con Geomallas de Vías Afirmadas
 ICITADO: Grupo 4 - Curso de Titulación 2006 - FIC FECHA: 26 de Abril 2007
 ERADOR: Y.F.A./L.F.A.N./A.C.H.O. MUESTRA: Subrasante

| MODO DE COMPACTACION | B | | VOLUMEN | | | | | | | |
|------------------------------|--------|--------|-----------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | A | | 904 96 cc | | | | | | | |
| Peso suelo + Molde | 3522 | | 3574 | | 3700 | | 3818 | | 3758 | |
| Peso Molde | 1740 | | 1740 | | 1740 | | 1740 | | 1740 | |
| Peso suelo húmedo compactado | 1782 | | 1834 | | 1960 | | 2078 | | 2018 | |
| Peso volumétrico húmedo | 1.969 | | 2.027 | | 2.166 | | 2.296 | | 2.230 | |
| Coeficiente N° | 8 | 333 | 335 | 324 | 28 | 319 | 326 | 27 | 301 | 374 |
| Peso suelo húmedo + Tara | 102.08 | 102.07 | 83.73 | 95.24 | 106.02 | 100.60 | 101.41 | 92.80 | 92.39 | 123.58 |
| Peso suelo seco + Tara | 99.29 | 99.43 | 79.87 | 90.88 | 100.02 | 94.41 | 93.31 | 85.80 | 83.29 | 111.32 |
| Gravidad específica | 13.22 | 11.45 | 11.56 | 10.22 | 12.66 | 10.53 | 12.27 | 13.35 | 10.63 | 12.09 |
| Peso de arena | 2.79 | 2.64 | 3.86 | 4.36 | 6.00 | 6.19 | 8.10 | 7.00 | 9.10 | 12.26 |
| Peso de suelo seco | 86.07 | 87.98 | 68.31 | 80.66 | 87.36 | 83.88 | 81.04 | 72.45 | 72.66 | 99.23 |
| Contenido de agua | 3.24 | 3.00 | 5.65 | 5.41 | 6.87 | 7.38 | 10.00 | 9.66 | 12.52 | 12.36 |
| Gravidad promedio | 3.121 | | 5.528 | | 7.124 | | 9.828 | | 12.440 | |
| Peso volumétrico seco | 1.910 | | 1.920 | | 2.022 | | 2.091 | | 1.983 | |



OBSERVACIONES



**LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA
AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA**



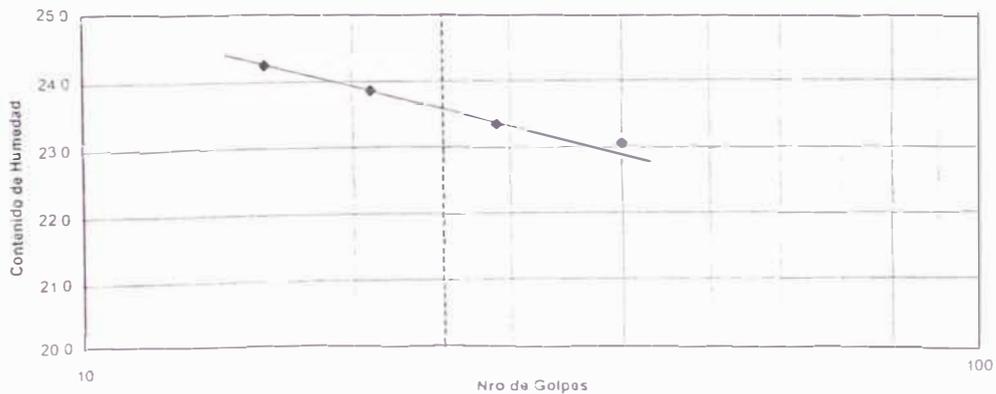
LIMITES DE ATTERBERG

| | | | |
|--------------|---|----------|-----------------------|
| SOLICITANTE | Grupo 4 - Curso de Titulación 2006 - FIC | FECHA | 25 de Abril del 2007 |
| PROYECTO | Mejoramiento Estructural con Geomallas de Vias Afirmadas | ENSAYO | |
| LOCALIZACION | Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería | OPERADOR | Y F A / M A L / K C L |
| SONDAJE | | REVISADO | ING J MARTINEZ |
| MUESTRA | Subrasante PROF (m) | | |

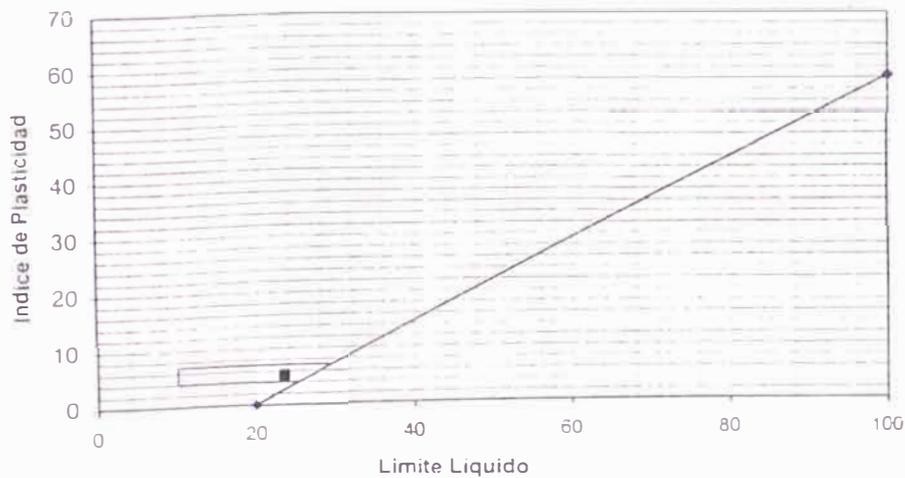
| | | LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318) | | LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318) | | | |
|---|--------------------------------|----------------------------------|-------|---------------------------------|--------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | ENSAYO No | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | CAPSULA N | 374 | 367 | 18 | 28 | 332 | 368 |
| | NUMERO DE GOLPES | | | 16 | 21 | 29 | 40 |
| 1 | PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO | 16.54 | 13.88 | 18.56 | 19.72 | 20.10 | 19.14 |
| 2 | PESO CAPSULA + SUELO SECO | 15.85 | 13.39 | 17.83 | 18.36 | 18.58 | 17.74 |
| 3 | PESO CAPSULA | 12.09 | 10.73 | 14.82 | 12.66 | 12.07 | 11.67 |
| 4 | PESO AGUA (1-2) | 0.69 | 0.49 | 0.73 | 1.36 | 1.52 | 1.40 |
| 5 | PESO SUELO SECO (2-3) | 3.76 | 2.66 | 3.01 | 5.70 | 6.51 | 6.07 |
| 6 | CONTENIDO DE HUMEDAD (4/5*100) | 18.35 | 18.42 | 24.25 | 23.86 | 23.35 | 23.06 |
| | | L.P. = | 18.39 | | L.L. = | 23.63 | |

I.P. = 5.25

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CARTA DE PLASTICIDAD



DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO: CL-ML



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (Gs) A.S.T.M. - 854

Proyecto : Mejoramiento Estructural con Geomallas de Vias Afirmadas
Solicitado: Grupo 4 - Curso de Titulación 2006 - FIC
Ubicacion: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
Fecha : 26 de Abril 2007

| | | | | | | | |
|----------------|--|------------|--|--|--|--|--|
| UBICACION | | | | | | | |
| MUESTRA | | M-1 | | | | | |
| PROFUNDIDAD | | Subrasante | | | | | |
| NRO DEL FRASCO | | 3 | | | | | |
| 1 | Peso del frasco + peso suelo seco (gr) | 236.7 | | | | | |
| 2 | Peso del frasco volumétrico | 109.6 | | | | | |
| 3 | Peso del suelo seco (1 - 2) (gr) | 127.1 | | | | | |
| 4 | Peso del frasco + peso suelo + peso agua (gr) | 438.6 | | | | | |
| 5 | Peso del frasco + peso del agua enrasada (gr) | 359 | | | | | |
| 6 | Volumen del suelo (3 + 5 - 4) (cm ³) | 47.5 | | | | | |
| 7 | Gs (3)/(6) gr/cc | 2.68 | | | | | |

Av. Tupac Amaru Puerta N° 4
Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería
Telf (01) 481-1070 anexo 302 Cel:99912987 95242588
e-mail: lnhgeo@yahoo.com
lnh_uni@uni.edu.pe

AREA DE GEOTECNIA APLICADA A A A

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D 422

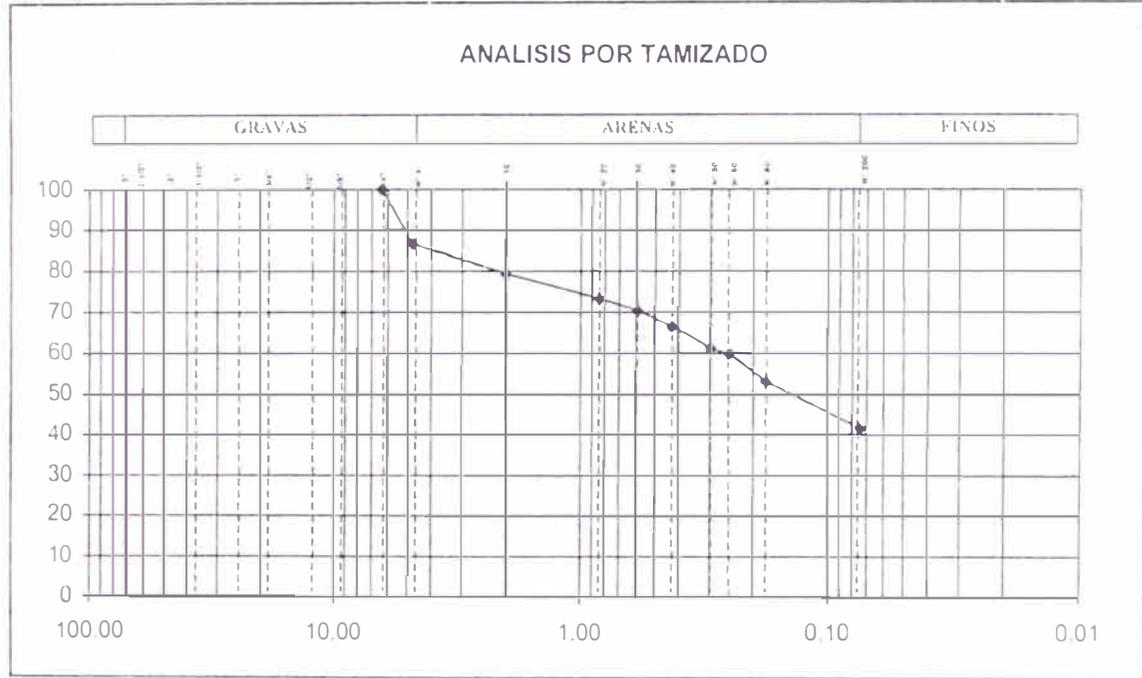
PROYECTO: Mejoramiento Estructural con Geomallas de Vias Afirmadas
 SOLICITADO: Grupo 4 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN: Laboratorio Nacional de Hidraulica - Universidad Nacional de Ingenieria
 CALICATA: MUESTRA: Subrasante PROF (m): _____
 ING. RESP: ING. J. MARTINEZ TECNICO: F. A. L. F. A. N. J. A. CH. FECHA: 26 de Abril del 2007

PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

| | |
|---|---------|
| HUMEDAD NATURAL DE LA MUESTRA (%) | |
| PESO DE LA MUESTRA SECA (gr) | 208 000 |
| PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA (gr) | 168 440 |
| PESOS DE FIJOS LAVADOS (gr) | 119 500 |

| | | | | | |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|
| D60 | 0.252 | Gravas | 13.36 | Gruesa | 0.00 |
| D30 | - | Arenas | 45.13 | Fina | 13.36 |
| D10 | - | | | Gruesa | 7.20 |
| Cu | - | | | Media | 12.90 |
| Cc | - | | | Fina | 25.03 |
| | | Finos | 41.51 | | |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA (%) |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 3" | 76 200 | | |
| 2 1/2" | 63 500 | | |
| 2" | 50 800 | | |
| 1 1/2" | 38 100 | | |
| 1" | 25 400 | | |
| 3/4" | 19 050 | | |
| 1/2" | 12 700 | | |
| 3/8" | 9 525 | | |
| 1/4" | 6 350 | | 100.00 |
| N° 4 | 4 760 | 38.47 | 86.64 |
| N° 10 | 2 000 | 20.74 | 79.44 |
| N° 20 | 0 840 | 17.53 | 73.35 |
| N° 30 | 0 590 | 8.43 | 70.43 |
| N° 40 | 0 426 | 11.18 | 66.55 |
| N° 50 | 0 297 | 15.26 | 61.25 |
| N° 60 | 0 250 | 3.72 | 59.95 |
| N° 80 | 0 177 | 19.26 | 53.27 |
| N° 200 | 0 074 | 33.85 | 41.51 |
| FONDO | | | |
| Limos < 0.074mm < 0.005mm | | | |
| Arenas < 0.005mm | | | |
| Cilindres < 0.001mm | | | |



Av. Tupac Amaru Puerta N° 4
 Campus de la Universidad Nacional de Ingenieria
 Telf. (01) 481-1070 anexo 302 Cel 99912987 95242588
 e-mail: inhgeo@yahoo.com
inh_uni@uni.edu.pe

SOLICITADO: Grupo 3
 PROYECTO: Pavimentación
 UBICACIÓN: Universidad Nacional de Ingeniera

SONDAJE: Grupo 4
 MUESTRA: A
 PROF: INALTERADO
 ESTADO: INALTERADO
 FECHA: Abril 2007
 ENSAYON*: 1

Cte de anillo de carga = 6 010
 Cte de anillo de deformación = 1 000

PROPIEDADES FISICAS DEL ESPECIMEN

| LIMITES DE CONSISTENCIA | | | |
|-------------------------|----|------|----|
| LL = | NT | IP = | NP |
| LP = | NT | CH = | |

| GRANULOMETRIA | CLASIFICACION SUCS |
|---------------|--------------------|
| GRAVA | |
| ARENA | |
| FINOS | |

| DENSIDADES (kg/cm³) | | | |
|---------------------|--|--------------------|--|
| γ _n = | | γ _{máx} = | |
| γ _s = | | γ _{mín} = | |

DATOS DEL ESPECIMEN AL INICIO DE LA PRUEBA

| Dimensiones (cm) | | Areas (cm²) | | Wl (g) | Vi (cm³) | γ _m (g/cm³) |
|-----------------------|----|-------------|------|--------|----------|------------------------|
| h _s = | | As = | | 139.73 | 67.34 | 2.060 |
| h _c = | | Ac = | | | | |
| h _i = | | Ai = | | | | |
| h _m (mm) = | 70 | Am (cm²) = | 9.62 | | | |

DATOS DEL ESPECIMEN AL FINAL DE LA PRUEBA

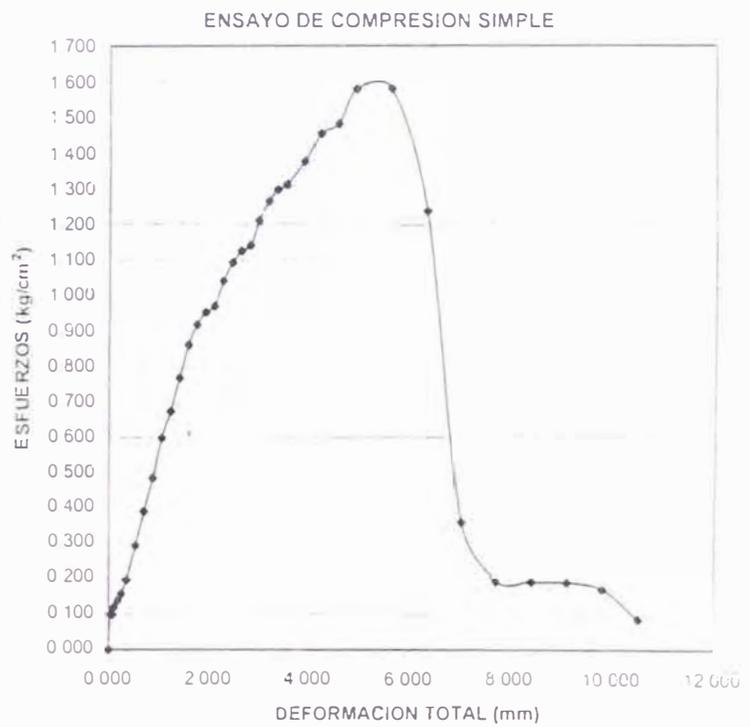
| Dimensiones (cm) | | Areas (cm²) | | Wl (g) | Vi (cm³) | γ _m (g/cm³) |
|-----------------------|----|-------------|------|--------|----------|------------------------|
| h _s = | | As = | | 132.50 | 57.72 | 2.296 |
| h _c = | | Ac = | | | | |
| h _i = | | Ai = | | | | |
| h _m (mm) = | 60 | Am (cm²) = | 9.62 | | | |

| Lectura en el dial de deformación | Lectura en el dial de deformación | deformación total | deformación unitaria | 1 - λ | Area corregida | Lectura en el dial de carga | Fuerza axial aplicada | Esfuerzo |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------------|--------|----------------|-----------------------------|-----------------------|----------|
| | | | | | | | | |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 1.0000 | 9.62 | 0.0 | 0.00 | 0.000 |
| 3.500 | 0.001 | 0.035 | 0.0005 | 0.9995 | 9.62 | 1.0 | 0.94 | 0.098 |
| 7.000 | 0.003 | 0.070 | 0.0010 | 0.9990 | 9.63 | 3.2 | 0.94 | 0.098 |
| 10.500 | 0.004 | 0.105 | 0.0015 | 0.9985 | 9.63 | 7.2 | 1.13 | 0.118 |
| 17.500 | 0.007 | 0.175 | 0.0025 | 0.9975 | 9.64 | 23.5 | 1.32 | 0.137 |
| 24.500 | 0.010 | 0.245 | 0.0035 | 0.9965 | 9.65 | 43.0 | 1.51 | 0.156 |
| 35.000 | 0.014 | 0.350 | 0.0050 | 0.9950 | 9.67 | 48.0 | 1.89 | 0.195 |
| 52.500 | 0.021 | 0.525 | 0.0075 | 0.9925 | 9.69 | 7.0 | 2.83 | 0.292 |
| 70.000 | 0.028 | 0.700 | 0.0100 | 0.9900 | 9.72 | 11.6 | 3.77 | 0.388 |
| 87.500 | 0.034 | 0.875 | 0.0125 | 0.9875 | 9.74 | 16.5 | 4.72 | 0.484 |
| 105.000 | 0.041 | 1.050 | 0.0150 | 0.9850 | 9.77 | 21.8 | 5.85 | 0.599 |
| 122.500 | 0.048 | 1.225 | 0.0175 | 0.9825 | 9.79 | 28.8 | 6.60 | 0.674 |
| 140.000 | 0.055 | 1.400 | 0.0200 | 0.9800 | 9.82 | 35.0 | 7.55 | 0.769 |
| 157.500 | 0.062 | 1.575 | 0.0225 | 0.9775 | 9.84 | 40.4 | 8.49 | 0.863 |
| 175.000 | 0.069 | 1.750 | 0.0250 | 0.9750 | 9.87 | 46.0 | 9.06 | 0.918 |
| 192.500 | 0.076 | 1.925 | 0.0275 | 0.9725 | 9.89 | 50.8 | 9.43 | 0.954 |
| 210.000 | 0.083 | 2.100 | 0.0300 | 0.9700 | 9.92 | 54.8 | 9.62 | 0.970 |
| 227.500 | 0.090 | 2.275 | 0.0325 | 0.9675 | 9.94 | 56.2 | 10.36 | 1.042 |
| 245.000 | 0.096 | 2.450 | 0.0350 | 0.9650 | 9.97 | 56.4 | 10.91 | 1.094 |
| 262.500 | 0.103 | 2.625 | 0.0375 | 0.9625 | 9.99 | 54.2 | 11.27 | 1.128 |
| 280.000 | 0.110 | 2.800 | 0.0400 | 0.9600 | 10.02 | 52.0 | 11.45 | 1.143 |
| 297.500 | 0.117 | 2.975 | 0.0425 | 0.9575 | 10.05 | 43.0 | 12.18 | 1.212 |
| 315.000 | 0.124 | 3.150 | 0.0450 | 0.9550 | 10.07 | 38.0 | 12.73 | 1.263 |
| 332.500 | 0.131 | 3.325 | 0.0475 | 0.9525 | 10.10 | 35.0 | 13.09 | 1.296 |
| 350.000 | 0.138 | 3.500 | 0.0500 | 0.9500 | 10.13 | 33.8 | 13.27 | 1.311 |
| 367.500 | 0.142 | 3.675 | 0.0525 | 0.9475 | 10.16 | 29.0 | 14.00 | 1.375 |
| 420.000 | 0.165 | 4.200 | 0.0600 | 0.9400 | 10.23 | 25.8 | 14.91 | 1.457 |
| 455.000 | 0.179 | 4.550 | 0.0650 | 0.9350 | 10.29 | 23.0 | 15.27 | 1.484 |
| 490.000 | 0.193 | 4.900 | 0.0700 | 0.9300 | 10.34 | 21.0 | 16.36 | 1.582 |
| 560.000 | 0.229 | 5.600 | 0.0800 | 0.9200 | 10.46 | 20.0 | 16.55 | 1.582 |
| 610.000 | 0.248 | 6.300 | 0.0900 | 0.9100 | 10.57 | 17.0 | 13.09 | 1.238 |
| 700.000 | 0.276 | 7.000 | 0.1000 | 0.9000 | 10.69 | 12.0 | 3.77 | 0.353 |
| 770.000 | 0.303 | 7.700 | 0.1100 | 0.8900 | 10.81 | 6.0 | 2.08 | 0.192 |
| 840.000 | 0.331 | 8.400 | 0.1200 | 0.8800 | 10.93 | 3.0 | 2.08 | 0.190 |
| 910.000 | 0.358 | 9.100 | 0.1300 | 0.8700 | 11.06 | 2.0 | 2.08 | 0.188 |
| 980.000 | 0.386 | 9.800 | 0.1400 | 0.8600 | 11.19 | 1.0 | 1.89 | 0.169 |
| 1050.000 | 0.413 | 10.500 | 0.1500 | 0.8500 | 11.32 | 1.0 | 0.94 | 0.083 |

Contenido de humedad de la muestra

| | |
|--------------------|--------|
| Tara N° | 32 |
| Peso de tara + sn | 144.76 |
| Peso de tara + ss | 126.4 |
| Peso de tara | 12.26 |
| Peso de suelo seco | 114.14 |
| Cont. de Humedad | 16.09 |

Esfuerzo ultimo (kg/cm²) = 1.6
 Es del suelo
 c (fricción) = 0.8



ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PRODUCTO GEOMALLA BIAxIAL BX 1100