

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



**APLICACIÓN DE GEOTEXILES TEJIDOS EN VIAS AFIRMADAS
METODOLOGIA DE DISEÑO**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

LUIS OSORIO LUCIO

Lima- Perú

2007

INDICE

RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	6
INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO I GEOTEXTILES	10
1.1 Definición	10
1.2 Objetivo	10
1.3 Tipos de Geotextiles	10
1.4 Proceso de fabricación de Geotextiles	11
1.5 Propiedades de Geotextiles	19
1.6 Funciones de los Geotextiles	22
1.7 Aplicaciones de los Geotextiles	26
CAPITULO II RESUMEN EJECUTIVO DEL TRAMO EXPERIMENTAL	33
2.1 Generalidades	33
2.2 Objetivo	33
2.3 Ubicación	34
2.4 Topografía	34
2.5 Estudio de Suelos	37
CAPITULO III: DISEÑO DE PAVIMENTOS	58
3.1 Diseño tradicional de pavimentos	58
3.1.1 Metodología de diseño	58
3.1.2 Parámetros de diseño	58
3.1.3 Tráfico	59
3.1.4 Subrasante	61
3.1.5 Cálculo de espesores	67

3.2	Diseño de pavimentos con geotextiles	68
3.2.1	Consideraciones de diseño	68
3.2.2	Análisis Teórico	69
3.2.3	Análisis de vías con Geotextiles	75
3.2.4	Método Analítico J. P. Giroud - J. Han	81
3.2.5	Verificación por Separación	92

CAPITULO IV: EVALUACION ECONOMICA DE PAVIMENTOS	99
--	----

CONCLUSIONES	101
---------------------	-----

RECOMENDACIONES	103
------------------------	-----

BIBLIOGRAFIA	105
---------------------	-----

ANEXOS

- Perfil Estratigráfico
- Ensayos de Laboratorio
- Panel fotográfico
- Planos

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia titulado APLICACIÓN DE GEOTEXTILES EN VÍAS AFIRMADAS - METODOLOGÍA DE DISEÑO, se ha desarrollado como un aporte a la Ingeniería de Transportes en cuanto a la aplicación de los geosintéticos (geotextiles tejidos), como parte estructural de una vía afirmada. La Metodología de diseño utilizada en el presente informe ha sido el de Giroud - Han, y contempla el modelo de cálculo de una vía reforzada con geotextil, las ecuaciones que rigen dicho método, y los parámetros a tomar en cuenta en el diseño, así como realizar comparaciones respecto al cálculo de espesores sin refuerzo mediante metodologías tradicionales, versus espesores con refuerzo de geotextil mediante la Metodología de Giroud - Han.

Se definieron los parámetros de CBR subrasante igual a 0.7 %, tráfico tipo T2 proyectado igual a 150,000 pasadas, tipo de refuerzo (geotextil tejido), ahuellamiento, carga, presión de llantas, etc., con los cuales se determinaron los espesores de la vía afirmada sin refuerzo y con refuerzo, resultando 0.85 m y 0.65 m respectivamente.

Luego se construyó la vía afirmada cuya estructura está conformada por una subrasante blanda de CBR igual a 0.7%, un geotextil tejido como refuerzo sobre la subrasante, y material granular afirmado sobre el geotextil en un espesor de 0.65 m. El ensayo de carga se realizó mediante la viga Benkelman, encontrándose valores de deflexiones dentro del rango requeridos por el diseño, módulos de subrasante bajos y CBR bajos concordantes con los obtenidos en el laboratorio. Los ahuellamientos encontrados son menores a 5 mm, por lo que el diseño se considera satisfactorio.

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 111- 1 Valores de tráfico proyectado
- Cuadro 111- 2 Valores de ejes equivalentes
- Cuadro 111- 3 Tamaño de partículas
- Cuadro 111- 4 Índice de Plasticidad
- Cuadro 111- 5 Equivalente de Arena
- Cuadro 111- 6 Índice de Grupo
- Cuadro 111- 7 Clasificación de Suelos
- Cuadro 111- 8 Espesores de Afirmando
- Cuadro 111- 9 Valores de N_e
- Cuadro 111- 10 Valores de J (Apertura del Modulo de Elasticidad)
- Cuadro 111- 11 Parámetros de diseño
- Cuadro 111- 12 Espesores de vía afirmada
- Cuadro 111- 13 Valores de función de deformación
- Cuadro 111- 14 Valores de A_p/ac
- Cuadro 111- 15 Espesores de vía afirmada sin refuerzo
- Cuadro 111- 16 Espesores de vía afirmada reforzada con geotextil
- Cuadro 111- 17 Reducción de espesor de la vía afirmada
- Cuadro 111- 18 Porcentaje de ahorro de la vía afirmada

LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1- 1 Tipo de fibras
- Fig. 1- 2 Telar típico para la fabricación de geotextiles
- Fig. 1- 3 Geotextil tejido - Monofilamento
- Fig. 1- 4 Geotextil tejido - Monofilamento
- Fig. 1- 5 Geotextil tejido Multifilamento
- Fig. 1- 6 Geotextil tejido cinta plana
- Fig. 1- 7 Telares con rollo de geotextiles tejidos
- Fig. 1- 8 Almacenamiento de los geotextiles
- Fig. 1- 9 Fabricación de geotextiles no tejidos
- Fig. 1- 10 Geotextil no tejido - termo unido
- Fig. 1- 11 Vista microscópica geotextil no tejido punzado para agujas
- Fig. 1- 12 Geotextil no tejido - punzado para agujas
- Fig. 1- 13 Tipos de agujas
- Fig. 1- 14 Fabricación del geotextil no tejido
- Fig. 1- 15 Empacado del geotextil no tejido
- Fig. 1- 16 Pavimento Sin geotextil - Con geotextil
- Fig. 1- 17 Función del geotextil como separador
- Fig. 1- 18 Función del geotextil como estabilizador
- Fig. 1- 19 Función del geotextil como refuerzo
- Fig. 1- 20 Esquema de repavimentación
- Fig. 1- 21 Repavimentación con geotextil - sin geotextil.
- Fig. 1- 22 Construcciones hidráulicas - ejemplos
- Fig. 1- 23 Esquema de drenaje
- Fig. 1- 24 Sistema drenaje
- Fig. 1- 25 Esquema de terraplén
- Fig. 1- 26 Terraplén sobre el suelo blando
- Fig. 1- 27 Esquema de muro de contención
- Fig. 1- 28 Sin geotextil
- Fig. 1- 29 Los muros de contención se construyen fácilmente usando geotextil,
no separador
- Fig. 1- 30 Esquema construcciones ferroviarias.

Fig. 1- 31 Construcción ferroviaria

Fig. 1- 32 Esquema de túnel

Fig. 1- 33 Forro completado de una sección de túnel

Fig. 1- 34 Esquema de depósitos y desechos

Fig. 1- 35 Esquema de campo deportivo

Fig. 1-36 Campo deportivo

Fig. 11- 1 Ubicación de la zona donde se construyó el pavimento

Fig. 11- 2 Ubicación del BM de apoyo localizado en el departamento de topografía

Fig. 11- 3 BM topográfico (placa de bronce)

Fig. 11- 4 Punto de control sobre plataforma adyacente a la zona de trabajo

Fig. 11- 5 Otra vista del punto de control

Fig. 11- 6 Limpieza de la zona de trabajo

Fig. 11- 7 Vista de los trabajos de limpieza previa a la excavación

Fig. 11- 8 Vista de la preparación de la zona

Fig. 11- 9 Vista parcial de la zona de trabajo

Fig. 11- 10 Inicio de la excavación con el cargador frontal

Fig. 11- 11 Vista parcial de la excavación se aprecia el suelo granular del fondo

Fig. 11- 12 Penetrómetro en la poza experimental

Fig. 11- 13 Penetrómetro en la poza experimental

Fig. 11- 14 Prueba de resistencia del suelo con Penetrómetro

Fig. 11- 15 Medida de la oquedad del Penetrómetro

Fig. 11- 16 Ensayo de penetración con equipo 0PL

Fig. 11- 17 Ensayo de penetración DPL, en el laboratorio de suelos y geotecnia

Fig. 11- 18 Impermeabilización de la excavación

Fig. 11- 19 Relleno con material arcilloso - limoso

Fig. 11- 20 Avance del relleno con el material fino

Fig. 11- 21 Relleno casi a nivel de subrasante terminado

Fig. 11- 22 Esquema de la subrasante degradada

Fig. 11- 23 Vista del suelo degradado con CBR igual a 0.7%

Fig. 11- 24 Colocación del geotextil tejido TR 4000, como refuerzo

Fig. 11- 25 Conformación de la primera capa de afirmado sobre el geotextil

Fig. 11- 26 Compactación mediante pisones manuales para la primera capa

-
- Fig. 11- 27 Compactación mecánica de la segunda capa
Fig. 11- 28 Vista de la prueba de densidad en la capa 2
Fig. 11- 29 Vista de la colocación de plantilla para la capa 4, y control de compactación capa 3
Fig. 11- 30 Compactación de la capa final
Fig. 11- 31 Vista de la vía afirmada reforzada con geotextil tejido TR 4000, terminada
Fig. 11- 32 Otra vista de la vía afirmada
Fig. 11- 33 Demarcado de los puntos para ensayos de deflexiones
Fig. 11- 34 Posicionamiento de la viga para su demarcación, respecto al eje del volquete
Fig. 11- 35 Puesta en estación viga Benkelman
Fig. 11- 36 Vista del extensómetro de precisión que mide las deformaciones
Fig. 11- 37 Medida de las deflexiones en la vía afirmada
- Fig. 111- 1 Esquema de pavimentos sin refuerzo y con refuerzo
Fig. 111- 2 Huella de contacto equivalente
Fig. 111- 3 Cinemática de vías con geotextil
Fig. 11- 4 Forma del geotextil deformado
Fig. 111- 5 Transmisión de carga hacia la subrasante (1 rueda y dos ruedas)
Fig. 11- 6 Distribución de cargas en la capa granular de una vía
Fig. 111- 7 Esfuerzos de corte del geotextil (Pullaut)
Fig. 111- 8 Distribución de presiones Método Giroud - Han
Fig. 111- 9 Dimensionamiento de la vía afirmada sin refuerzo y reforzado con geotextil
Fig. 111- 10 Resistencia a la tensión GRAB
Fig. 111- 11 Resistencia al Estallido
Fig. 111- 12 Punzonamiento causado por una partícula sobre el geotextil

INTRODUCCION

A continuación se describe cada uno de los capítulos que desarrollan el Tema del presente Informe:

En el primer capítulo se realiza la definición, y objetivo del uso de los geotextiles, para luego dar a conocer la parte teórica de los geotextiles como tipos, proceso de fabricación, estilos de tejidos, propiedades, funciones y aplicaciones de los geotextiles en obras de Ingeniería.

En el segundo capítulo trata sobre la memoria descriptiva del proyecto experimental, indicando su ubicación, la topografía del terreno, el estudio de suelos (trabajos de campo y ensayos de laboratorio), proceso constructivo de la vía a nivel de afirmado y la Evaluación Estructural mediante la viga Benkelman.

El tercer capítulo trata sobre el diseño de Pavimentos, donde se realiza el calculo del espesor de la vía afirmada, considerando métodos tradicionales como el "Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Transito" del MTC, para el caso de una vía sin refuerzo, y la Metodología de Diseño de Giroud - Han, diseño de pavimentos para los caso de una vía sin refuerzo y con refuerzo de geotextil. Así mismo se realiza la verificación de los criterios de separación para el caso de vías reforzadas con geotextiles.

El cuarto capítulo trata sobre la Evaluación Económica, y la comparación de costos entre una vía no pavimentada sin refuerzo, versus una vía reforzada con geotextil tejido.

CAPITULO I GEOTEXTILES

1.1 Definición

Se denomina geotextil a cualquier material textil permeable utilizado en tierra, suelo, roca o cualquier otro material relacionado con la Ingeniería Civil y que forma parte integral de un proyecto, estructura o sistema realizado por el hombre.

1.2 Objetivo

El principal objetivo de este estudio es proporcionar una herramienta para determinar el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos, evaluando las funciones de separación y refuerzo de los geotextiles en las vías y en las estructuras de pavimento, y determinando una metodología de diseño racional que involucre la utilización de los geotextiles en el diseño y la construcción de vías, para mejorar las condiciones de servicio y operación y aumentar su vida útil.

1.3 Tipos de Geotextiles

Se presentan dos tipos:

1.3.1 Geotextiles Tejidos: son los conformados por fibras entrecruzadas ortogonalmente, y tienen altas resistencias a la tensión, alto modulo y baja elongación, ideal para la función de refuerzo y estabilización. Su fabricación se da mediante tejidos de fibras sintéticas de cinta plana, monofilamentos, y multifilamentos. Ver fotos 1- 1 a 1- 6

1.3.2 Geotextiles No Tejidos: son aquellas cuyas fibras o filamentos están unidas de manera aleatoria no teniendo ninguna dirección de fibra definida.

Se utiliza mucho más en el control de la erosión y para las funciones de filtración y drenaje, debido a sus propiedades hidráulicas considerables, altas características de elongación y por su mayor permeabilidad en comparación con los geotextiles tejidos. Además se utilizan en pavimentación y también sirve como un amortiguador. Ver fotos 1- 7 a 1- 12

1.4 Proceso de fabricación: hay tres puntos que son importantes en el proceso de fabricación: tipo de polímero, tipo de fibra y estilo de tejido.

1.4.1 Tipo de Polímero: El polímero usado en la fabricación de fibras del geotextil se hace de los siguientes materiales poliméricos, listado en orden creciente de uso:

- Polipropileno (85 %)
- Poliéster (12 %)
- Polietileno (2 %)
- Poliamida (Nylon) (1 %)

1.4.2 Tipo de Fibra: Los polímeros apropiadamente formulados se hacen de fibras (o hebras, donde una hebra consiste de una o mas fibras), fundiéndolas y forzándolas a través de un carrete, similar en principio a la ducha del baño.

Los filamentos de fibras resultantes son luego endurecidos o solidificados por uno de tres métodos: seco, húmedo o fundido. La mayor parte de fibras geotextiles se hacen por el proceso de fundido. Aquí el endurecimiento es por enfriado y simultáneamente son estiradas.

El estirado reduce el diámetro de la fibra y ocasiona que las moléculas en la fibra se acomoden en una disposición ordenada. Haciendo esto se incrementa la resistencia de las fibras, su elongación en la falla disminuye y su modulo se incrementa.

Esos monofilamentos también se pueden trenzar juntos para formar una hebra multifilamento. El diámetro de la fibra esta caracterizado por el denier. En términos de geotextiles el denier se define como el peso en gramos de 1000 m de hebras. Las principales fibras usadas en la fabricación de geotextiles son monofilamentos, multifilamentos, hiladas enhebradas, monofilamentos hendidos y multifilamentos hendidos.

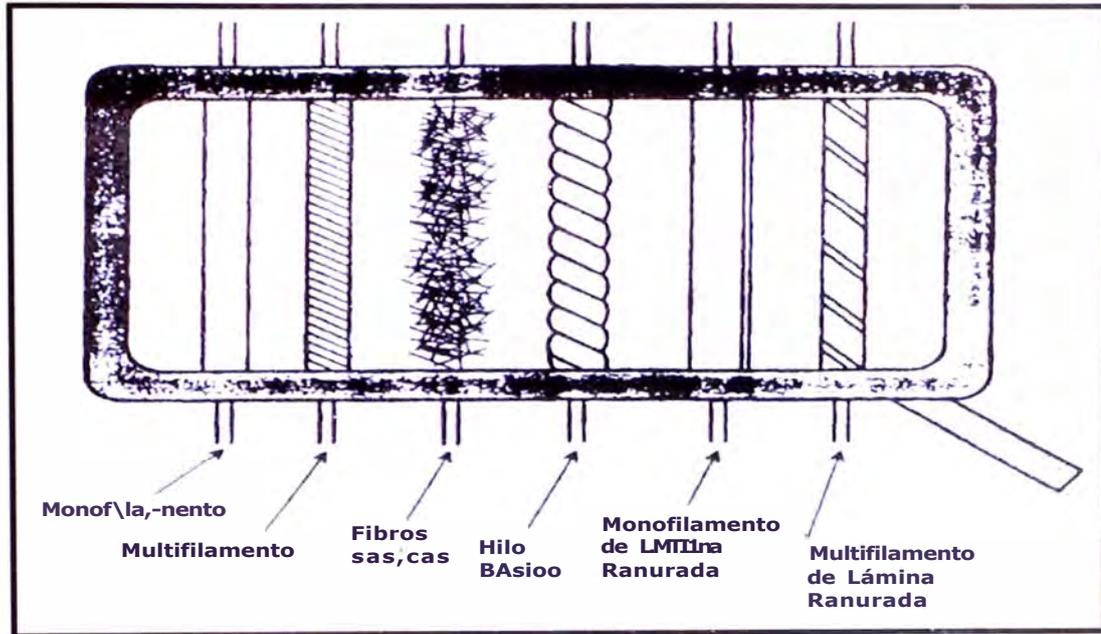


Fig. 1- 1 Tipos de fibras

1.4.3 Estilos de Tejido

1.4.3.1 Geotextiles Tejidos: Una vez que se fabrican las hiladas, ellas se convierten en telas, a través de telares típicos tal como se muestra en la figura:

The diagram shows a loom used for weaving geotextiles. Part (a) shows the main components: 'Hilo trenzado' (twisted thread) on the left, 'Tejido' (weaving) in the center, 'Junquillo' (shuttle) at the top, 'Telar' (loom) at the bottom, and 'Ruta de la Lanzadera' (shuttle path) on the right. Text above the loom reads: 'El Junquillo se mueve Wirta y abajo curvando le. hilo f un tú. para la 18°Z. -'. Part (b) illustrates the action of the shuttle for inserting threads (weaving). It shows a shuttle moving across threads, with labels like 'El junquillo se levanta' (shuttle rises), 'Hilo doblado' (folded thread), and 'El Junquillo' (shuttle). A technical drawing of a shuttle is shown with dimensions: '3hua: x19 par cm'. Other text includes 'La lanzadera contiene una ranura trenzada' and 'El tejido se enrolla en la viga'.

Fig. 1- 2 Telar típico para la fabricación de Geotextiles

El proceso de fabricación para los geotextiles tejidos se da a través de fibras cinta plana, monofilamentos y multifilamentos. Los geotextiles mas utilizados vistos desde un microscopio son los siguientes:

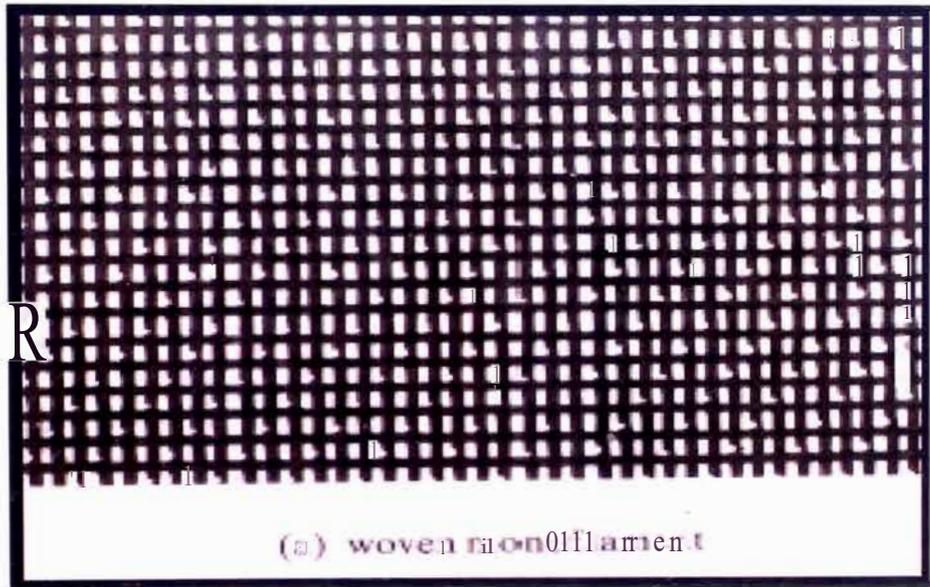


Fig. 1- 3 Geotextil Tejido - Monofilamento

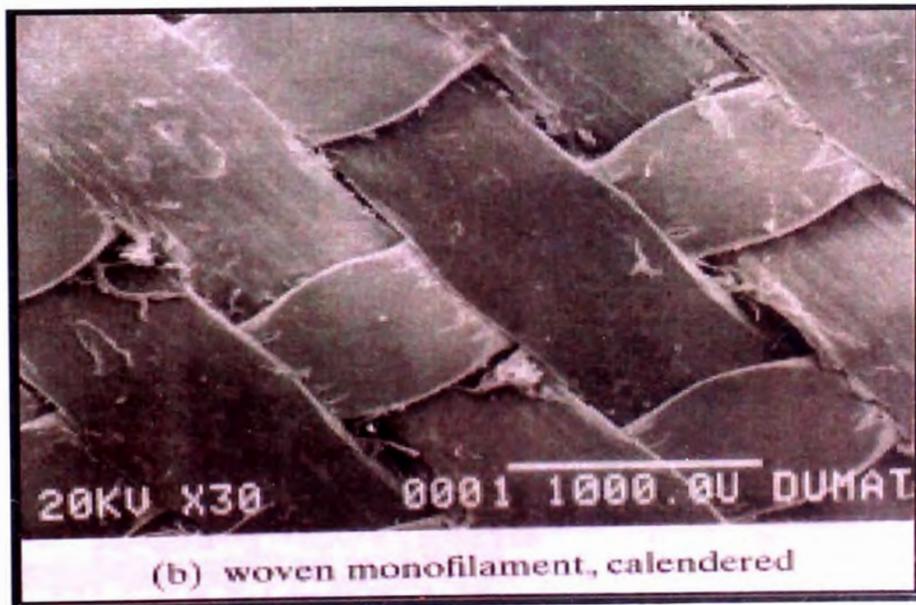


Fig. 1- 4 Geotextil Tejido - Monofilamento, Calandrado



Fig. 1- 5 Geotextil Tejido - Multifilamento

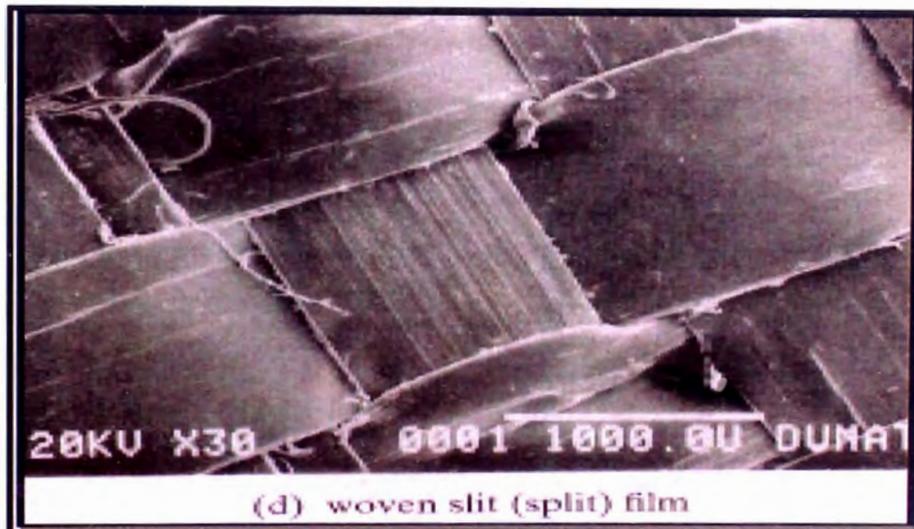


Fig. 1- 6 Geotextil Tejido - Cinta plana



Fig. 1- 7 Telares con rollos de geotextiles tejidos



Fig. 1- 8 Almacenamiento de los Geotextiles

En resumen los geotextiles tejidos presentan las siguientes características generales:

- Altas resistencias mecánicas respecto a otros geotextiles.
- Poco filtrantes y drenantes respecto a los geotextiles no tejidos, punzonados por agujas.
- Elongaciones bajas usualmente entre 5 % a 25 %
- Bajo costo comparado con los geotextiles no tejidos.

1.4.3.2 Geotextiles no tejidos: Los Geotextiles no tejidos (Spun Bonding), unido del hilado, se fabrican siguiendo cuatro pasos básicos:

- Preparación de la fibra
- Formación del velo
- Consolidación del velo
- Tratamiento posterior

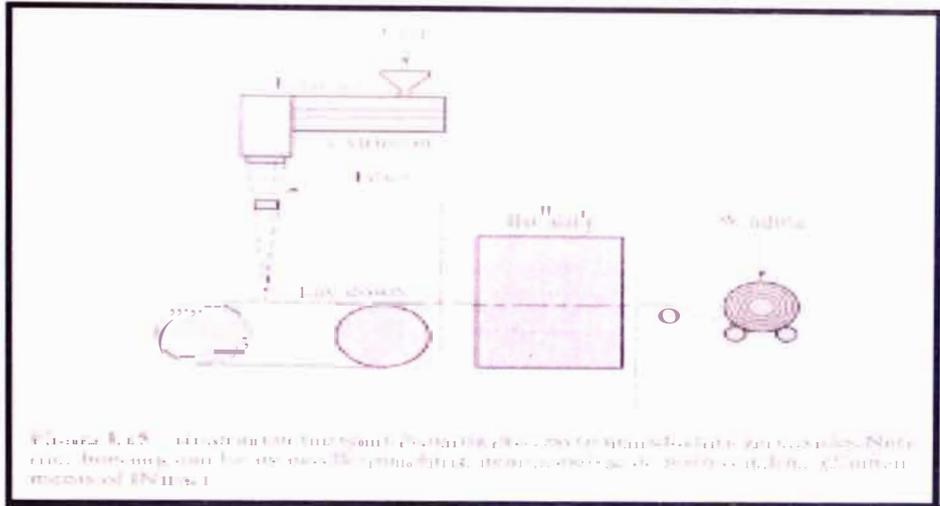


Fig. 1- 9 Fabricación de Geotextiles no tejidos

Preparación de la fibra

La materia prima (Polipropileno), se almacena en la fábrica de fibras. Los Chip de Polipropileno se extruyen, junto con los aditivos (carbón Black). El proceso de mezcla y extrusión es controlado desde un panel. La mezcla extruida ya en forma líquida, atraviesa unos agujeros, dándole forma a la fibra, que se solidifica en contacto con el aire.

La fibra es sometida a una serie de estiramientos para orientar las moléculas, y conseguir resistencia mecánica. Luego esta fibra recibe un baño de lubricante que contribuirá en el proceso de carda. La fibra es cortada y lista para ser empacada. Una vez empacada quedan listas para llevarlas a la fábrica de Geotextiles No Tejidos.

Consolidación del velo

La consolidación se puede realizar de tres maneras:

- Unidos por Acción Térmica, Calandrados o Termounidos.
- Unidos por Acción Química, el velo es roseado o impregnado con una resina acrílica.
- Punzonado por agujas, es el método más común, utilizado por la mayoría de fabricantes en el mundo.



Fig. 1-10 Geotextil No Tejido - Termo unido

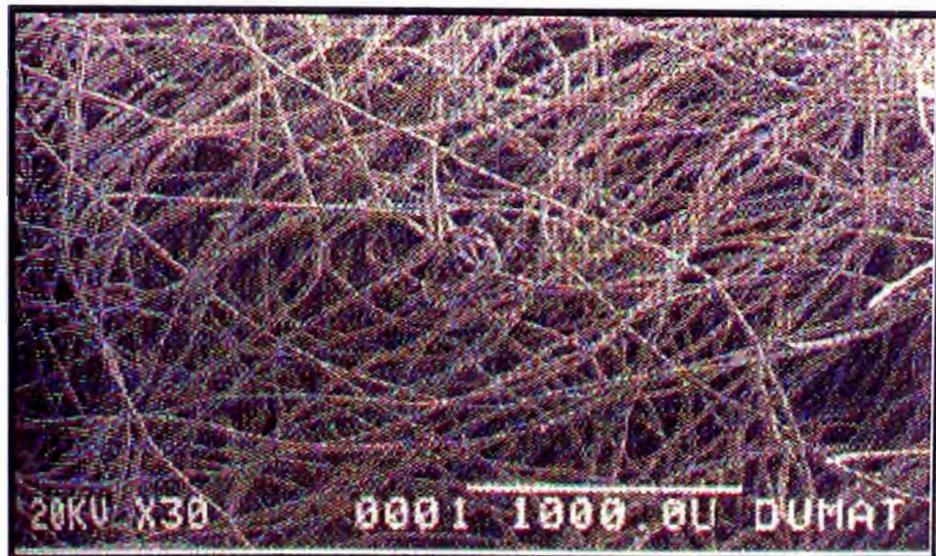


Fig. 1- 11 Vista microscópica Geotextil No Tejido Punzonado por agujas

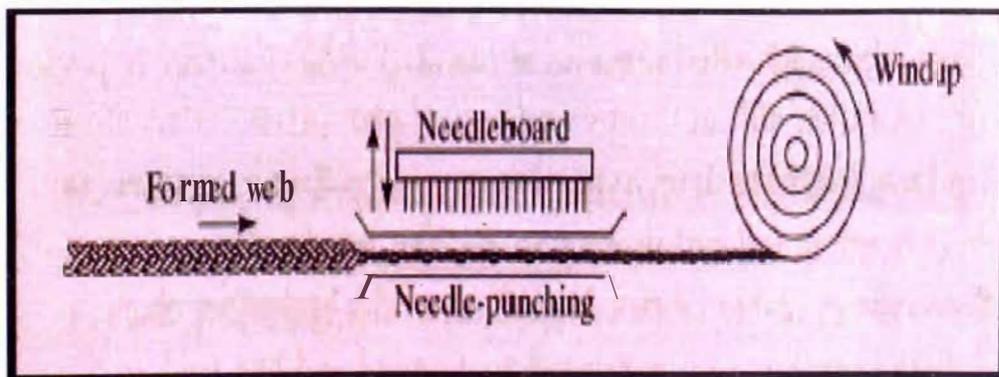


Fig. 1-12 Geotextil No Tejido - Punzonado por Agujas

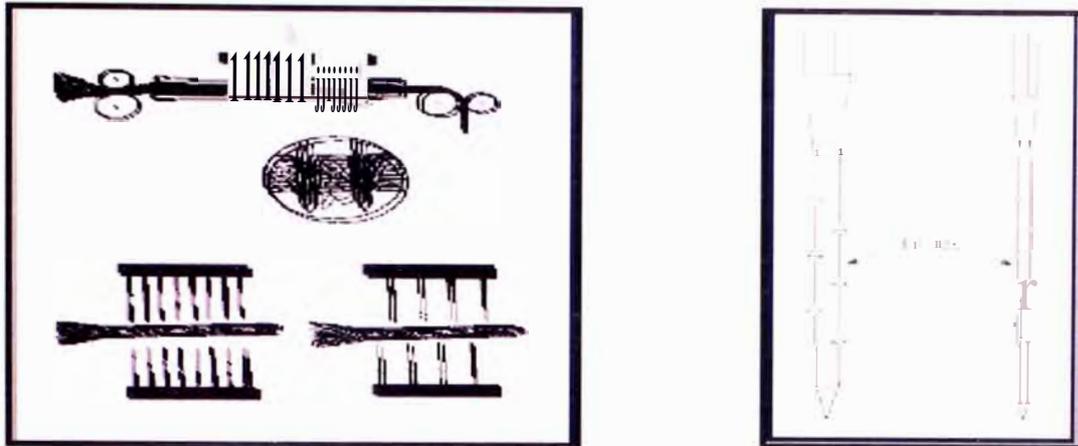


Fig. 1- 13 Tipos de agujas

Según la longitud de la fibra los geotextiles no tejidos pueden ser de:

- Fibras cortas, longitud de la fibra < 25 cm.
- Fibras continuas, longitud de la fibra > 25 cm.

La fabricación se da a través de maquinaria industrial de precisión automatizado el cual desarrolla internamente la consolidación propia de cada tipo.



Fig. 1- 14 Fabricación del Geotextil No Tejido

Luego de terminado el proceso, los rollos son empacados mediante plásticos gruesos y se apilan en un ambiente cerrado libre de humedad en un ambiente cerrado.



Fig. 1-15 Empacado del Geotextil No Tejido

En resumen los geotextiles no tejidos presentan las siguientes características generales:

- Muy filtrantes y drenantes respecto a los geotextiles tejidos
- Elongaciones muy altas usualmente superiores al 50 %.
- Resistencia mecánica baja respecto a los geotextiles tejidos

1.5 Propiedades de los Geotextiles

Las Normas existentes son métodos de ensayos para establecer valores de cada una de las propiedades que poseen los geotextiles. Las propiedades de los geotextiles son las siguientes:

1.5.1 Propiedades Mecánicas

- **Resistencia a la tensión - Elongación (Método GRAB) (N), (%)**: Determina una resistencia a la tensión y su valor es representativo en el control de calidad. Posee una alta resistencia a la tensión y puede absorber tales esfuerzos cuando las estructuras son sometidas a carga. La Norma es ASTM D-4632
- **Resistencia a Tensión - Elongación (Método de la Tira Ancha) (kN/m), (%)**: Este ensayo utiliza un ancho de muestra y una longitud entre mordazas mayor, ayudando a reducir el efecto del adelgazamiento del espécimen. Son aplicables a vías, muros y taludes, y terraplenes.

La Norma es ASTM D-4595

- **Resistencia al Estallido (Mullen) (psi):** Es la habilidad de un geotextil para resistir la rotura originada por una presión aplicada sobre el plano de la tela. Absorbe solicitaciones de reventón (Bursa), sobre grietas y juntas del soporte de la impermeabilización. Es aplicable para funciones de separación y estabilización y filtración.

La Norma es ASTM 0-3786.

- **Resistencia al Punzonamiento (N):** Evalúa la resistencia del geotextil a ser penetrado por un objeto punzonante. Su efecto combinado de propiedades de resistencia mecánica y efecto amortiguador protege contra la perforación y desgaste de la capa impermeabilizante. Es aplicable para funciones de separación y estabilización, filtración y protección.

La Norma es ASTM 0-4833

- **Resistencia al Rasgado Trapezoidal (N):** Es la fuerza requerida para empezar o continuar un rasgado en el geotextil, una vez iniciado. Es aplicable para funciones de separación y estabilización, filtración y protección.

La Norma es ASTM D 4533

1.5.2 Propiedades Hidráulicas

- **Tamaño de Apertura Aparente (TAA) (mm):** Determina el tamaño de apertura aparente de un geotextil mediante el tamizado de esferas de vidrio de un tamaño determinado a través de él.

La Norma es ASTM D 4751

- **Capacidad de filtración:** evita la migración de finos que puede conducir al colapso de una estructura, cumpliendo los criterios de filtro para la abertura eficaz de poros. Es aplicable para las funciones de separación y estabilización, filtración y drenaje.

La Norma es ASTM 0-4751

- **Permitividad (seg⁻¹):** Mide el flujo de agua en la dirección normal al plano del geotextil. Es aplicable para las funciones de separación y estabilización, filtración y drenaje.
La Norma es ASTM 0-4491
- **Permeabilidad (cm./seg):** La permeabilidad se calcula multiplicando la permitividad por el espesor. Al garantizar el paso del agua, cumple los criterios de filtro para la permeabilidad, debiendo la permeabilidad del geotextil ser mayor que la permeabilidad del suelo que se pretende filtrar.
La Norma es ASTM 0-4491
- **Flujo Planar:** Garantiza el transporte de agua en el plano del geotextil sin mayores pérdidas de presión.

1.5.3 Propiedades Físicas y de Durabilidad

Los geotextiles fabricados a base de fibras 100% virgen de polipropileno, tienen un alto peso molecular y tienen las siguientes propiedades:

- son muy estables.
- Su contracción térmica es mínima.
- Su resistencia a rayos ultravioleta es igual al 70%, luego de 500 horas de exposición.
- Su punto de fusión lo alcanza a 150 ° C.
- Dimensiones (largo de rollo (m), ancho de rollo (m), anchos estándares (3.5 m - 3.8 m), ancho variable hasta (4.5 m), área de rollo (m²), empaques (polietileno), marcas (etiquetas)
- Resistencia Química: son resistentes a los ácidos, álcalis, insectos y microorganismos.
- Es imputrescible y correctamente instalado tiene una vida útil de más de 100 años.
- Prolonga la duración de los pavimentos y de las sobrecapas nuevas de asfalto.

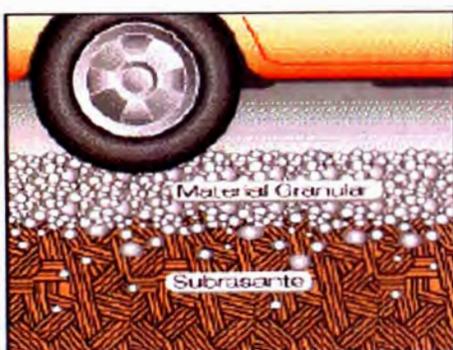
1.6 Funciones de los Geotextiles

Las funciones de los geotextiles son amplias de acuerdo al campo de acción para la cual es utilizado. En el caso de caminos las principales funciones son las siguientes:

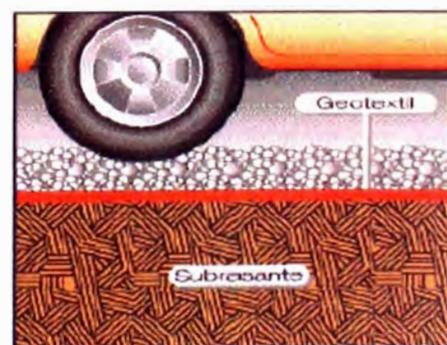
- **Función de Separación:** Los geotextiles cumplen una función de separación de materiales y de estabilización de la subrasante, durante toda la vida de la estructura de la vía, mejorando las condiciones de servicio y estabilidad de las obras, aumentando considerablemente el periodo de vida útil establecido en el diseño. En el caso de las estructuras de pavimento, donde se coloca suelo granular (base, subbase y relleno) sobre suelos finos (subrasante), el geotextil actúa manteniendo la integridad y el buen funcionamiento de dos suelos adyacentes con propiedades y características diferentes, evitando así la migración de suelos finos dentro del suelo granular, por tanto manteniendo su capacidad de drenaje y por ende evitando la disminución de su capacidad portante.

Para que un geotextil cumpla correctamente la función de **SEPARACION** (AASHTO M-288), entre un suelo de subrasante y capa de material granular debe cumplirse lo siguiente:

$$3 \% < \text{CBR subrasante} < 10 \%$$



Pavimento sin Geotextil



Pavimento con Geotextil

Fig.I-16



Fig. 1- 17 Función del Geotextil como Separador

- **Función de Estabilización:** Los Geotextiles proporcionan estabilización además de su función principal de separación aumentando la capacidad efectiva de carga de los suelos con subrasantes de baja resistencia. Un geotextil de estabilización reduce el bombeo de la subrasante, la excavación adicional y el espesor requerido del agregado reduciendo considerablemente los costos de construcción para caminos pavimentados y sin pavimentar. Para que un geotextil cumpla correctamente la función de **ESTABILIZAR** (AASHTO M-288), entre un suelo de subrasante y capa de material granular debe cumplirse lo siguiente:

$$1 \% < \text{CBR subrasante} < 3 \%$$

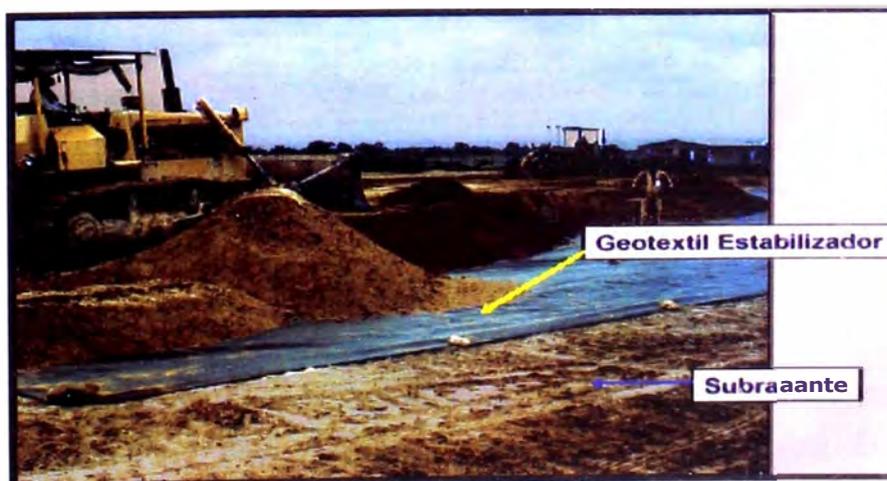


Fig. 1-18 Función del Geotextil como Estabilizador

- **Función de Refuerzo, Filtración y Drenar:** El Geotextil se traduce en una barrera para la migración de partículas entre los dos tipos de suelo, facilitando la transmisión de agua. Se requiere entonces un geotextil que retenga las partículas de suelo y evite el lavado de finos por la acción del agua y que cumpla con resistencias necesarias para mantener la continuidad sin que ocurra ninguna falla por tensión, punzonamiento o estallido, bajo concentraciones de esfuerzos locales causadas por irregularidades en el suelo de fundación. Al disminuir la pérdida del agregado y aumentar su permeabilidad, se incrementa considerablemente el rendimiento y vida útil del pavimento, al mismo tiempo que se reducen los costos de mantenimiento.

La función de refuerzo de los Geotextiles consiste en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo. Los Geotextiles son materiales con alta resistencia a la tensión y son un buen complemento de aquellos materiales con alta resistencia a la compresión pero con poca resistencia a la tensión, como ocurre generalmente en los suelos finos y granulares.

Cuando las fuerzas perturbadoras son causadas por cargas externas, como en las vías, el refuerzo del suelo con Geotextiles permite la aplicación de mayores cargas y un aumento de la vida útil de la estructura del pavimento. El refuerzo con geotextiles permite además soportar mayores aplicaciones de carga en el suelo y mejorar su capacidad portante, mediante otro mecanismo diferente, que se aplica cuando el refuerzo se ha deformado lo suficiente para actuar como una membrana a tensión.

Cuando se aplica una carga en la superficie de la estructura, una parte de los esfuerzos normales de la fibra inferior de esa capa (parte cóncava) son soportados por la fuerza de tensión de la membrana del geotextil, reduciendo así los esfuerzos aplicados en el suelo que se encuentra bajo el geotextil (parte convexa).

Este mecanismo tipo membrana se desarrolla cuando se aplican cargas localizadas y se presentan deformaciones considerables. En el caso de las vías, la acción de membrana es muy importante para

controlar el ahuellamiento en las vías y para prevenir el colapso de un relleno en un hueco o cavidad que se presente en el suelo de fundación.

Para que un Geotextil cumpla correctamente la función de **REFUERZO** (AASHTO M-288), entre un suelo de subrasante y capa de material granular debe cumplirse lo siguiente:

CBR subrasante < 1 %



Fig. 1-19 Función del Geotextil como Refuerzo

1.7 Aplicaciones de los Geotextiles

Las aplicaciones de los Geotextiles se dan en los siguientes campos:

- **Pavimentación y Repavimentación.**

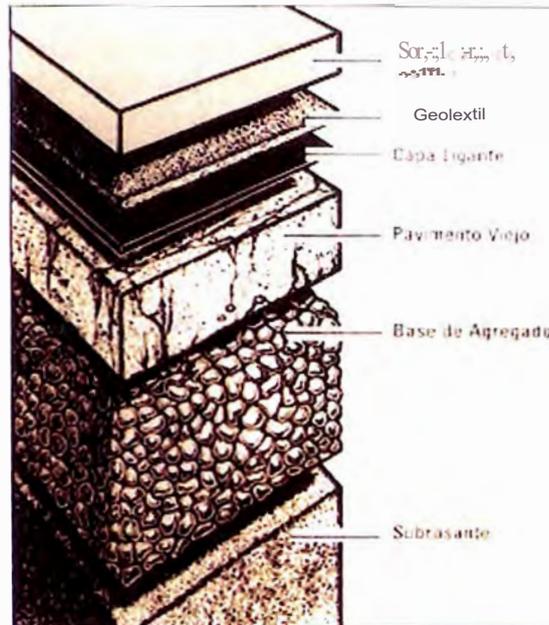


Fig. 1- 20 Esquema - Repavimentación

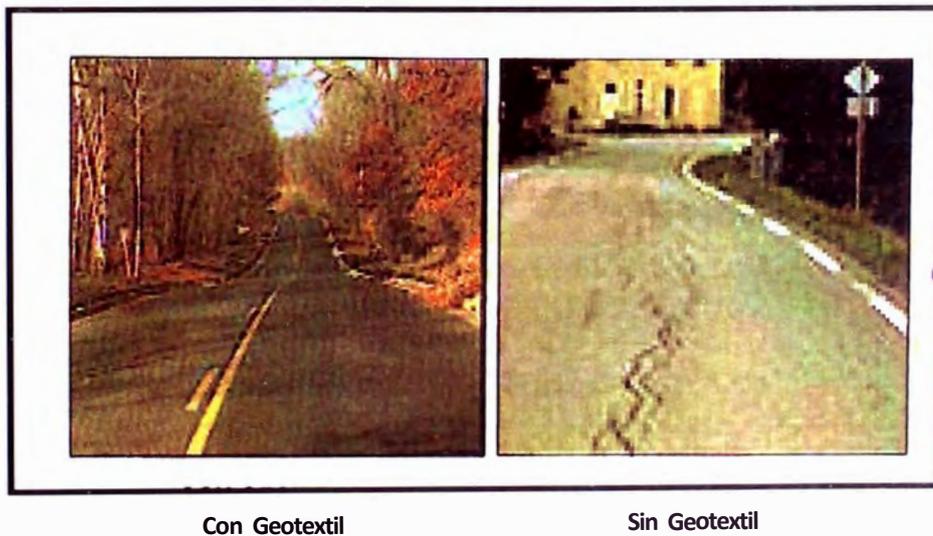


Fig. 1- 21 Repavimentación

- **Construcciones Hidráulicas**

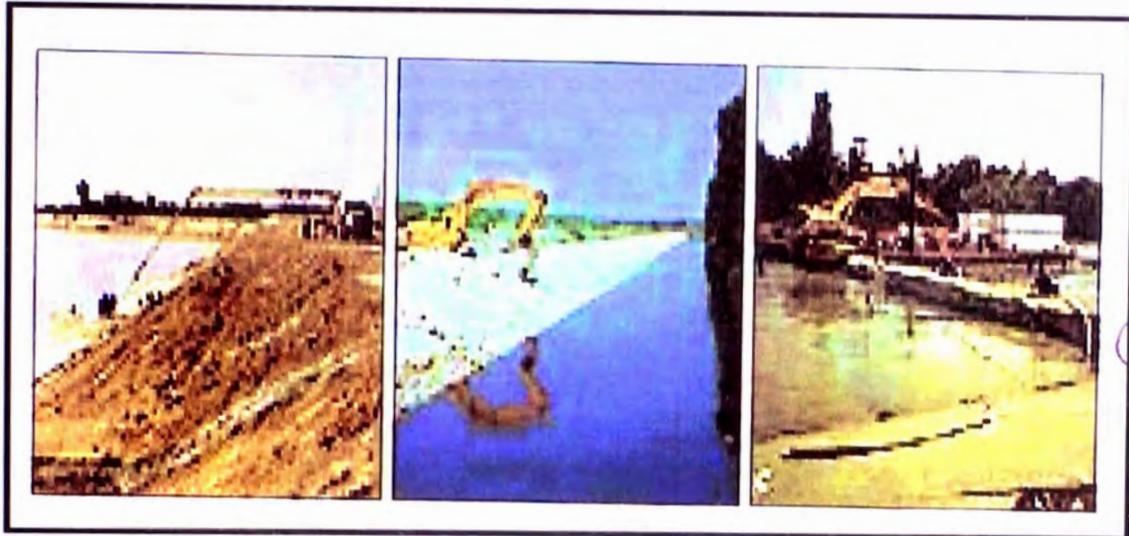


Fig. 1- 22 Construcciones Hidráulicas - Ejemplos

- **Drenaje**

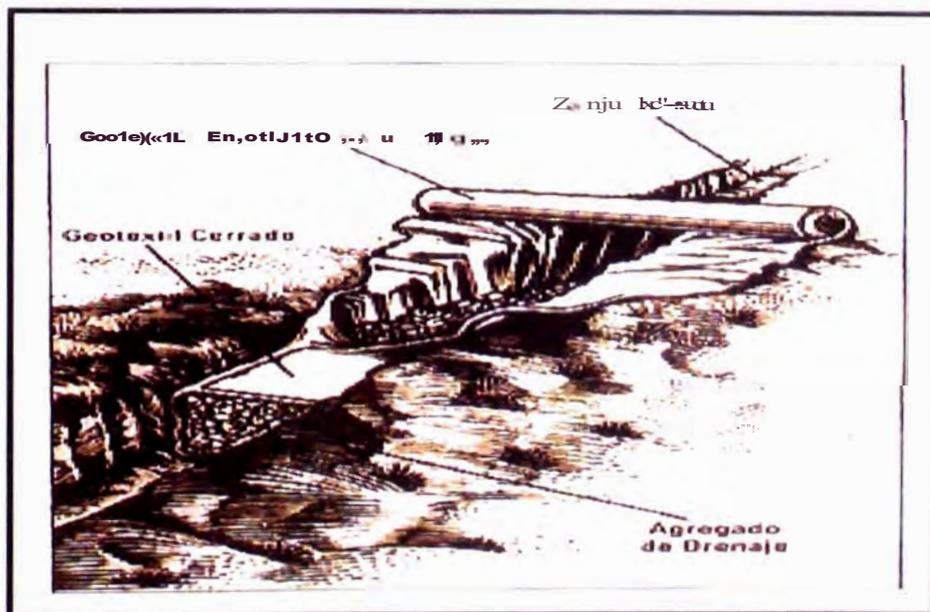


Fig. 1- 23 Esquema - Drenaje

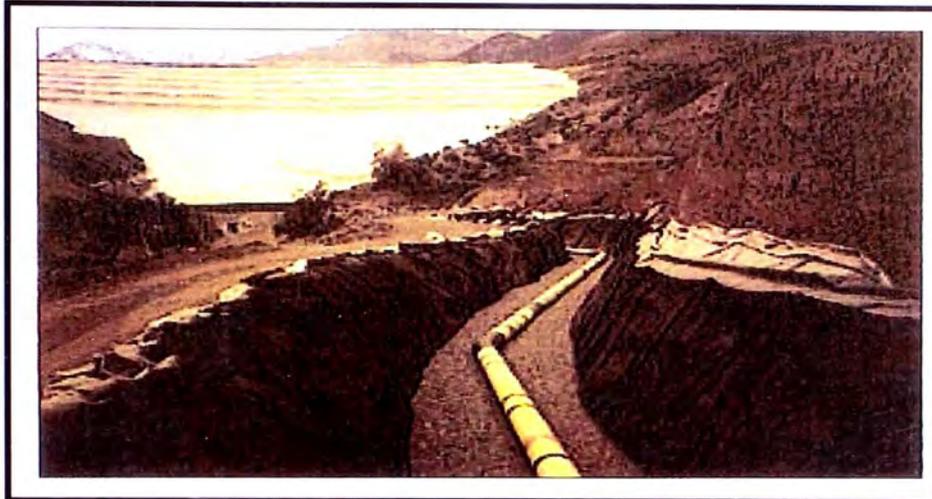


Fig. 1- 24 Sistema de Drenaje

- Terraplenes sobre suelo blando

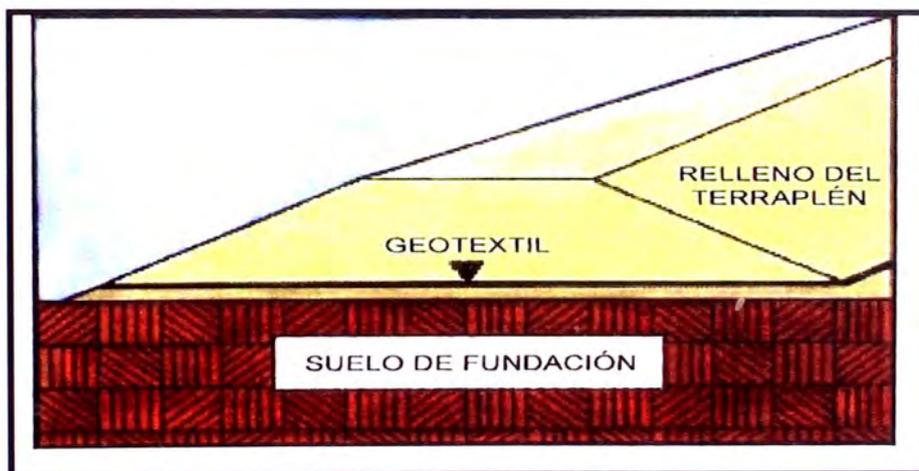


Fig. 1- 25 Esquema - Terraplén

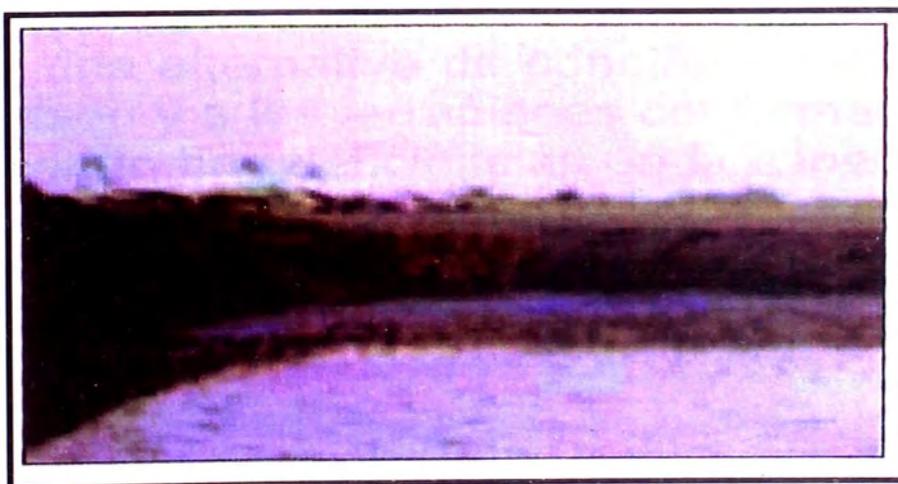


Fig. 1- 26 Terraplén sobre suelo blando

- Muros de contención

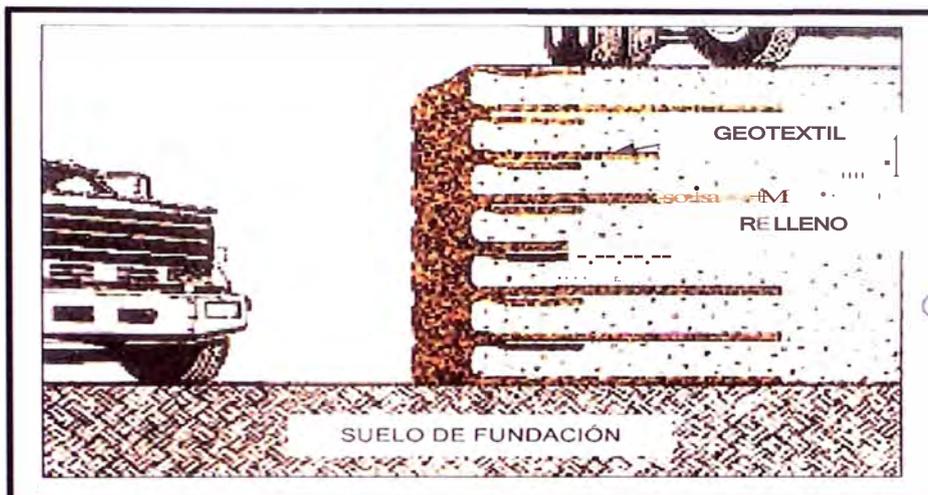


Fig. 1- 27 Esquema Muro de Contención

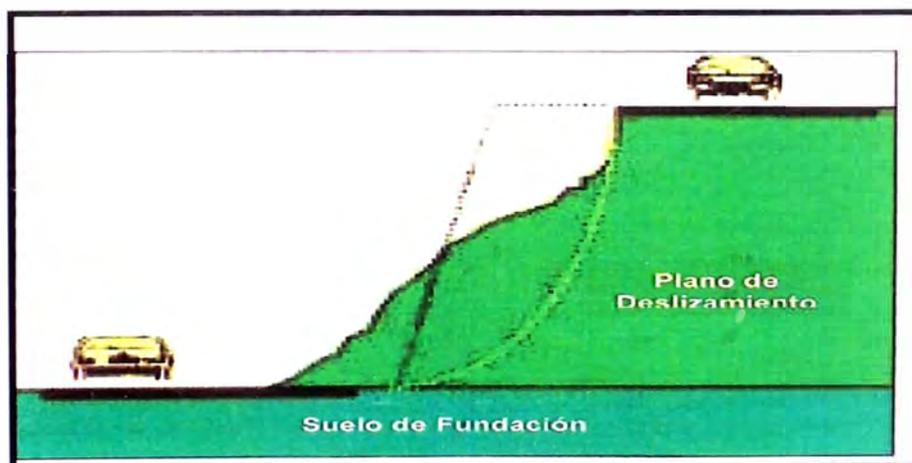


Fig. 1- 28 Sin geotextil las pendientes escarpadas pueden colapsar

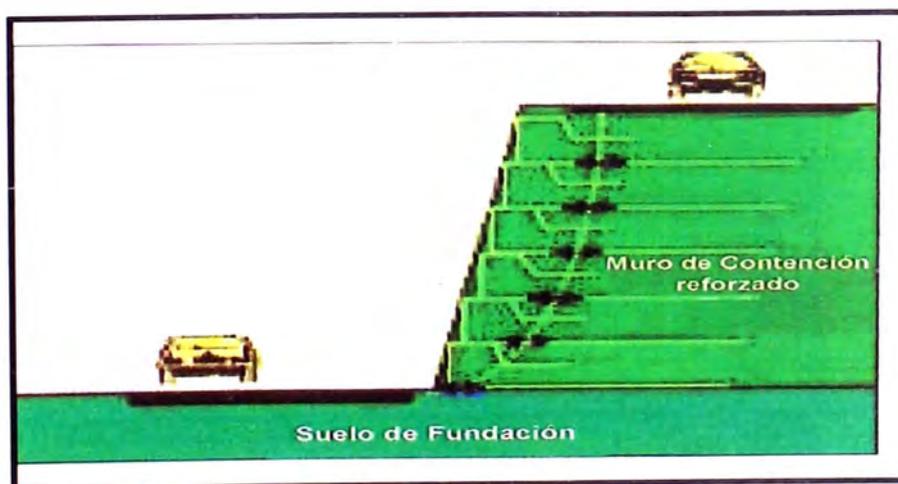


Fig. 1- 29 Los muros de contención se construyen fácilmente usando geotextil como refuerzo

- **Construcciones Ferroviarias**



Fig. 1- 30 Esquema - Construcciones Ferroviarias



Fig. 1- 31 Construcción Ferroviaria

- **Túneles**

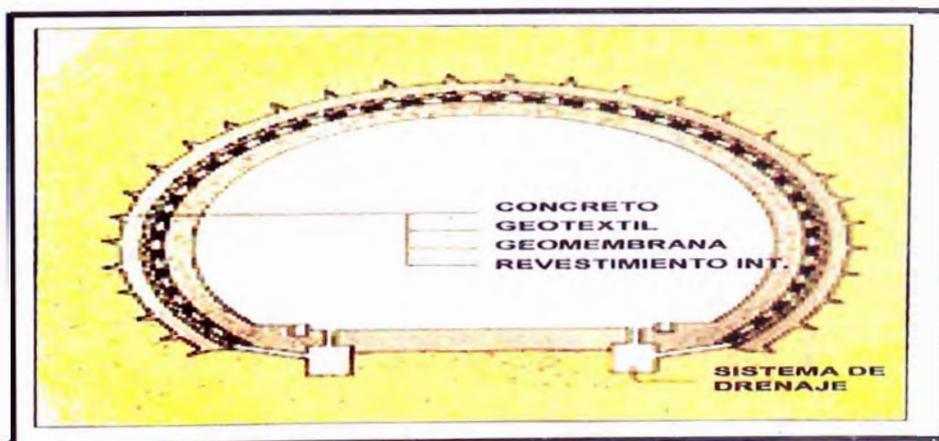


Fig. 1- 32 Esquema de Túnel

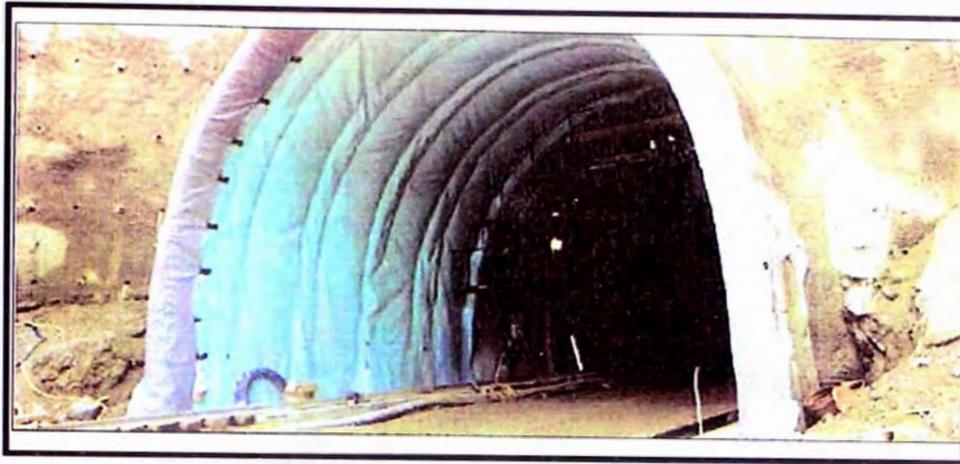


Fig. 1- 33 Forro completado de una sección de túnel

- **Depósitos de líquidos y desechos**

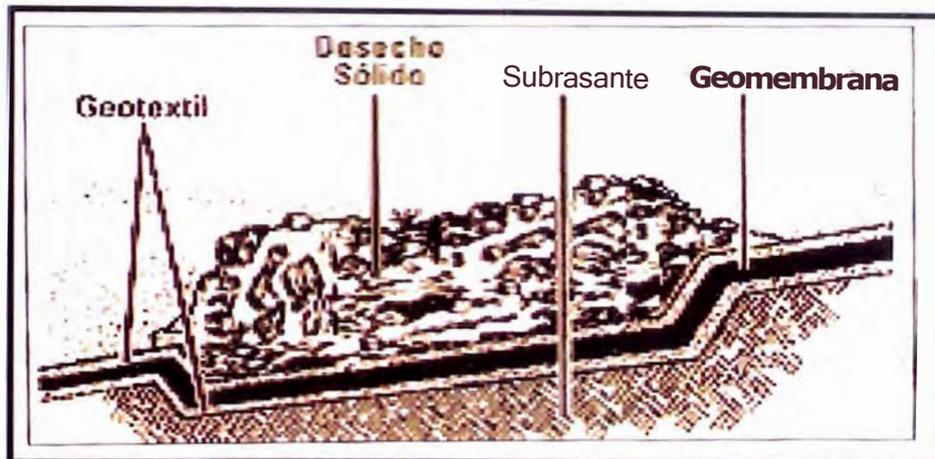


Fig. 1- 34 Esquema depósitos de desechos

- **Campos deportivos**

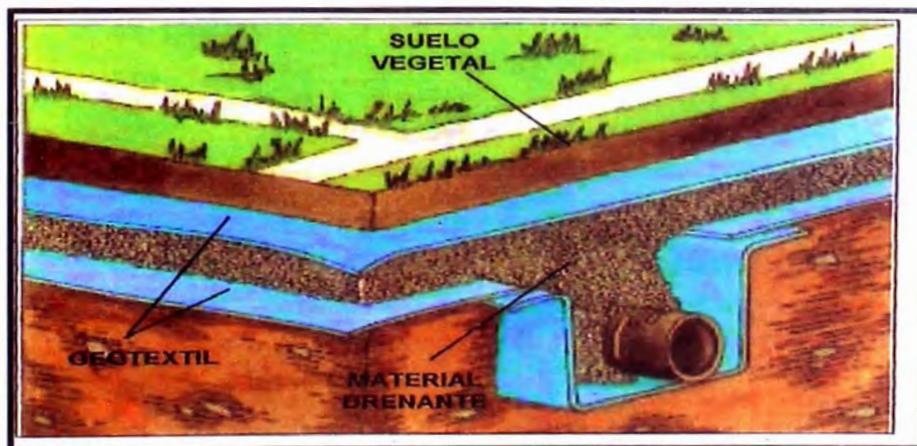


Fig. 1- 35 Esquema - Campo Deportivo



Fig. 1- 36 Campo Deportivo

- **Playas artificiales**

La aplicación del geotextil en el presente trabajo de investigación ha sido como refuerzo y estabilización en vías afirmadas.

CAPITULO II RESUMEN EJECUTIVO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

2.1 Generalidades

Los suelos existentes en nuestro territorio son en grandes partes arcillosos, limosos y arcillo-limosos, los cuales presentan baja capacidad de soporte y son propensos a deformaciones apreciables cuando son sometidos a cargas de tráfico.

Las regiones de la selva y la sierra presentan principalmente dicha característica. Considerando diseños tradicionales de espesores de pavimento, se obtendrían capas apreciables, los mismos que sumados a la falta de canteras que contengan material granular de buena calidad, dichos diseños se tornan totalmente inviables.

Es aquí donde surge una alternativa de reducir dichos espesores de capas del pavimento mediante la incorporación de los geosintéticos. El Geotextil utilizado como estabilización y refuerzo es el tema seleccionado para la construcción del tramo de pavimento experimental ejecutado.

El presente informe correspondiente al curso de titulación 2006, está referido a la construcción de una vía a nivel de afirmado, con la aplicación del geotextil tejido en su función de **refuerzo y estabilización**.

2.2 Objetivo

El objetivo principal ha sido construir un tramo experimental de vía afirmada considerando la incorporación de un geotextil tejido tipo TR 4000, el cual actuará como **refuerzo y estabilización**, de tal manera de aumentar la capacidad de soporte del terreno de fundación, aumentar su vida útil y reducir el espesor de la capa del material granular a utilizar, en comparación con el de un pavimento tradicional.

Asimismo se verificará las bondades del producto luego de efectuar los ensayos de carga respectivos para el tramo terminado y verificar el comportamiento estructural del mismo.

2.3 Ubicación

El área seleccionada para la construcción del tramo experimental ha sido dentro de los linderos del Laboratorio Nacional de Hidráulica, dentro del campus universitario de la Universidad Nacional de Ingeniería, frente al sector "J", adyacente al muro perimetral que circunda el laboratorio de Hidráulica. Ver foto 11 - 1.

La Universidad Nacional de Ingeniería, se encuentra dentro del distrito del Rímac, provincia de Lima, departamento de Lima.



Fig. 11- 1 Ubicación de la zona donde se construyó el pavimento

2.4 Topografía

La topografía ha consistido en un levantamiento topográfico de la zona donde se realizara la construcción del tramo experimental para la aplicación del Geotextil Tejido TR 4000, en su función de **refuerzo** y **estabilización**.

El BM de apoyo para el levantamiento topográfico ha sido el de topografía el cual tiene una cota de 108.255 m.s.n.m. Ver fotos 11- 2 y 11- 3.

Las coordenadas UTM utilizadas en el levantamiento topográfico están en el Sistema WGS-84.

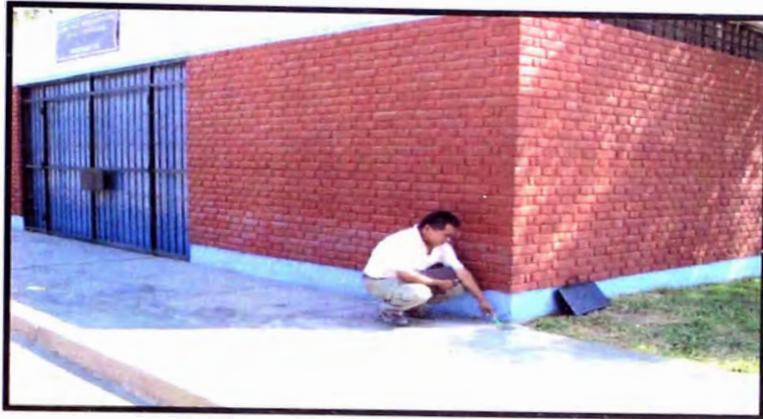


Fig. 11- 2 Ubicación del BM de apoyo localizado en el departamento de topografía



Fig. 11- 3 BM topográfico (placa de bronce)

Se han tomado dos puntos de control cercano al sector donde se encuentra la zona del pavimento experimental.

Estos puntos de control han sido denominados PC-1, y PC-2. Ver fotos 11- 4 y 11 - 5

Las coordenadas de estos puntos de control son los siguientes:

PC-1: NORTE: 8670352.14, ESTE 276856.75, Cota: 109.568 m.s.n.m.

PC-2: NORTE: 8670349.04, ESTE 276861.00, Cota: 109.248 m.s.n.m.



Fig. 11- 4 Punto de control sobre plataforma adyacente a la zona de trabajo



Fig. 11- 5 Otra vista del punto de control

Los equipos utilizados para realizar este trabajo de topografía ha sido el siguiente:

- 01 Estación Total marca TOPCON GTS 226
- 01 Nivel marca Wild NA 020, de aproximación 2 cm., por km.
- 02 Miras
- 02 Prismas

Los planos confeccionados con el presente levantamiento topográfico son:

- Plano de ubicación
- Plano de Planta y Perfil
- Plano de secciones transversales cada 2 m
- Perfil estratigráfico del subsuelo

2.5 Estudio de Suelos

El Estudio de Suelos con fines de pavimentación para el trabajo experimental en la aplicación del Geotextil Tejido, ha sido efectuado mediante trabajos de exploraciones de campo, ensayos de laboratorio y estudios geológicos, necesarios para definir el perfil estratigráfico del área en estudio, así como dar a conocer las propiedades físico mecánicas de los suelos de fundación existentes como la Capacidad de Soporte California (CBR), parámetro importante entre otros para el diseño del pavimento.

2.5.1 Antecedentes

La selección de la zona apropiada para efectuar la construcción del tramo experimental para los fines de incorporar el Geotextil como refuerzo y separación ha requerido que el terreno de fundación tenga un suelo de muy baja Capacidad de Soporte, (valores de $CBR < 1\%$). Para conseguir dichas condiciones naturales de los suelos existentes en la zona a trabajar se ha realizado la siguiente selección:

Como una primera alternativa se inspecciono un terreno ubicado en el Km. 100+000 de la Carretera Panamericana Sur, hacia el lado derecho, relativamente cercana a las orillas del mar.

Esta zona presentaba un suelo arcilloso de baja capacidad de soporte con alta humedad y presencia de nivel freático, que lo hacia propicio para el trabajo de aplicación. Inclusive se tomaron muestras representativas para realizar ensayos de laboratorio como CBR (Razón Soporte California, Densidad natural, Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg, Humedades, entre otros. Dicha alternativa quedo descartada, dado la lejanía del lugar respecto a la ciudad capital.

Como segunda alternativa se inspeccionó una zona ubicada en la localidad de Huachipa, cercano al final de la carretera Ramiro Priale. Esta zona presentaba un suelo arcilloso limoso y presencia de suelo turboso de muy baja capacidad de soporte, y alta humedad. Esta Alternativa también fue descartada por la cierta lejanía con respecto al campus universitario.

Como tercera alternativa se inspeccionó el terreno dentro del laboratorio Nacional de Hidráulica, verificándose que el terreno de fundación presentaba una capa superficial conformada por arenas limosas y/o limos arenosos para luego dar paso a un material gravoso con partículas subredondeadas de buena capacidad de soporte.

Esta última zona fue seleccionada, debido a que se encuentra dentro del campus universitario, y aunque no presenta suelos con las características requeridas se realizó el estudio respectivo para degradar el suelo de fundación de tal manera que sea lo suficientemente plástico para que un geotextil pueda desarrollar su capacidad de deformación, mediante el aumento de la resistencia del conjunto suelo-geotextil.

2.5.2 Trabajos de campo

Para ello se realizó una limpieza general de la zona evacuando material existente como arenas, piedra chancada y desmontes los cuales se encontraban asentados en forma irregular en toda el área de trabajo. La limpieza fue realizada por los integrantes de los grupos de pavimentos. Ver fotos 11- 6, 11- 7 y 11-8.



Fig. 11- 6 Limpieza de la zona de trabajo



Fig. 11- 7 Otra vista de los trabajos de limpieza previa a la excavación



Fig. 11- 8 Otra vista de la preparación de la zona

El estudio de suelos en la zona donde se construyó el tramo experimental se ha efectuado mediante la excavación de calicatas a cielo abierto, de tal manera de identificar los tipos de suelos que conforman el terreno de fundación.

El área de estudio consiste en un rectángulo de 3.30 m de ancho, y 100 m de largo, para el cual se ha realizado las siguientes excavaciones:

Se ha realizado 2 calicatas denominadas C - 1 y C - 2, los cuales presentan la siguiente estratigrafía:

Calicata C - 1: Presenta una capa superficial entre 0.00 m - 0.60 m, conformado por limos arenosos en estado compacto, seco, color marrón claro, de baja plasticidad. Presenta gravas de TM 1/2" en un 5 %. Este suelo es

clasificado en el Sistema Unificado SUCS como ML, y en el Sistema de Clasificación AASHTO como A-4.

De 0.60 m - 1.20 m continua material gravoso pobremente graduado con partículas subredondeadas TM 3", con arenas en estado semicompacto a semisuelto, poco húmedo, color gris, no plástico. Presenta cantos rodados y boleos TM 8" en un 10 %. Este suelo es clasificado en el Sistema Unificado SUCS como GP, y en el Sistema de Clasificación AASHTO como A-1-a(0)

Calicata C - 2: Presenta una capa superficial entre 0.00 m a 0.55 m, conformado por limos arcillosos con escaso porcentaje de arenas en estado semicompacto, poco húmedo, color marrón claro, de baja plasticidad. Presenta gravillas de TM 1/4" en un 3 %. Este suelo es clasificado en el Sistema Unificado SUCS como CL-ML, y en el Sistema de Clasificación AASHTO como A-6.

De 0.55 m - 1.20 m, continua material gravoso pobremente graduadas con partículas subredondeadas TM 3", con arenas en estado semicompacto a semisuelto, poco húmedo, color gris verdoso, no plástico. Presenta cantos rodados y boleos TM 10" en un 10 %. Este suelo es clasificado en el Sistema Unificado SUCS como GP, y en el Sistema de Clasificación AASHTO como A-1-a(0). Ver perfil estratigráfico.

Luego se delimito el área de trabajo y se procedió a realizar la excavación mediante un cargador frontal, para una longitud de 100 m, ancho de 3.30 m, y una profundidad de 1.2 m



Fig. 11- 9 Vista parcial de la zona de trabajo

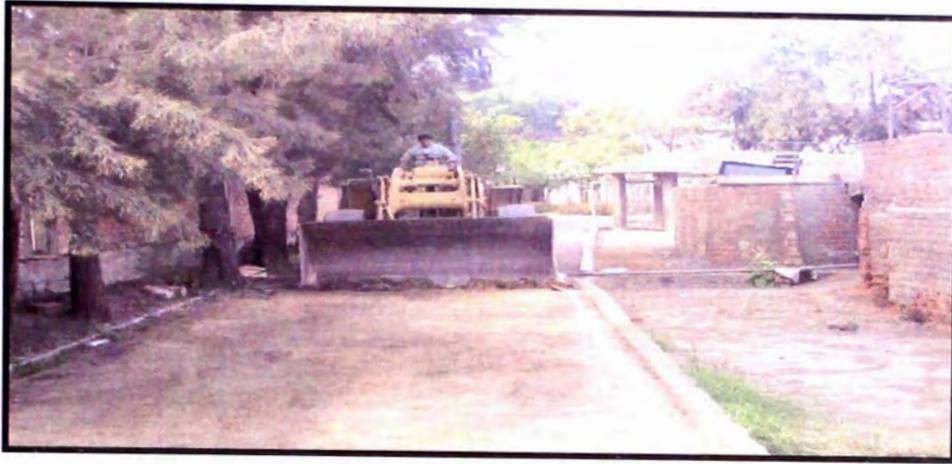


Fig. 11- 10 Inicio de la excavación con el cargador frontal



Fig. 11- 11 Vista parcial de la excavación se aprecia el suelo granular del fondo

Luego de realizar la excavación hasta la profundidad requerida, el suelo de fundación (Grava arenosa), presentó una buena capacidad de soporte ($CBR > 20\%$), por tanto no servía para nuestro propósito. El suelo de fundación que se buscaba era un suelo fino de mediana a alta plasticidad que presentase un valor de capacidad de soporte (CBR), muy bajo menor a 1% , en el cual el geotextil desarrollaría su capacidad de brindar un aumento en la capacidad de soporte y por ende refuerza dicho valor traduciéndose en espesores de afirmado mucho mas económicos, y aumento de la vida útil de este.

Por lo tanto el material superficial consistente de limos arenosos y arcillas limosas han sido tratados mediante zarandeo, colocación (compacidad suelta), y grado de saturación, de tal forma de cumplir con dichas características ($CBR < 1\%$), donde se pueda aplicar el geotextil y verificar su capacidad de absorber esfuerzos y brindar estabilidad al pavimento diseñado.

2.5.3 Ensayos de Laboratorio

Se tomaron muestras de cada uno de los estratos de dichas calicatas y se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Análisis Granulométrico por tamizado ASTM D 422
- Límites de Atterberg ASTM D 4318
- Humedad Natural ASTM D 2216
- Densidad Máxima y Mínima
- Razón Soporte California (CBR) **ASTM D 1883**
- Proctor Modificado ASTM C 1555
- Clasificación SUCS
- Clasificación AASHTO

Los Ensayos de laboratorio fueron efectuados en el laboratorio de Geotecnia Aplicada a Hidráulica del Laboratorio Nacional de Hidráulica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

En una primera etapa se realizó una poza experimental de dimensiones 1.0x1.0x1.2 m, relleno con material degradado consistente de arcillas limosas con menor porcentaje de arenas, con la finalidad de realizar ensayos de penetración mediante el Penetrómetro Dinámico liviano (DPL), densidad natural, humedad, y CBR (saturado)

Estos ensayos han sido orientados para obtener la curva de correlación CBR versus penetración (N). El valor del CBR para dicho material ha resultado igual a 0.7 %, y ha sido el parámetro del valor de CBR de la subrasante para realizar el diseño del espesor del tramo experimental. (Ver Anexo: Ensayos de laboratorio)



Fig. 11- 12 Penetrómetro en la poza experimental



Fig. 11-13 Penetrómetro en la poza experimental



Fig. 11- 14 Prueba de resistencia del suelo con Penetrómetro



Fig. 11-15 Medida de la oquedad del Penetrómetro

En una segunda etapa se procedió a tamizar el material superficial conformado por arcillas limosas y limos arenosos con presencia de gravas subredondeadas en menor porcentaje. El tamizado se realizó mediante una malla de $\frac{1}{4}$ " de abertura, utilizando este material como relleno denominado suelo degradado.

Asimismo se tomaron muestras representativas del suelo tamizado para realizar un conjunto de ensayos de laboratorio todos con la finalidad de degradar el suelo de fundación para verificar un valor de la Capacidad de Soporte California (**CBR<1%**).

Entre los ensayos efectuados para esta finalidad (degradación del suelo) se realizó los ensayos DPL, al estado saturado y para diferentes estados de compactación (3 golpes, 6 golpes, 9 golpes, 12 golpes y 15 golpes) de tal manera de obtener una curva que nos correlacione valores de CBR real con numero de golpes (N) del Penetrómetro dinámico liviano (DPL).

Posteriormente se efectúa el ensayo DPL para el suelo de subrasante degradado, y con este valor entrando a la curva de correlación obtener el valor del CBR real de dicho suelo a nivel de subrasante.



Fig. 11- 16 Ensayo de penetración con equipo OPL

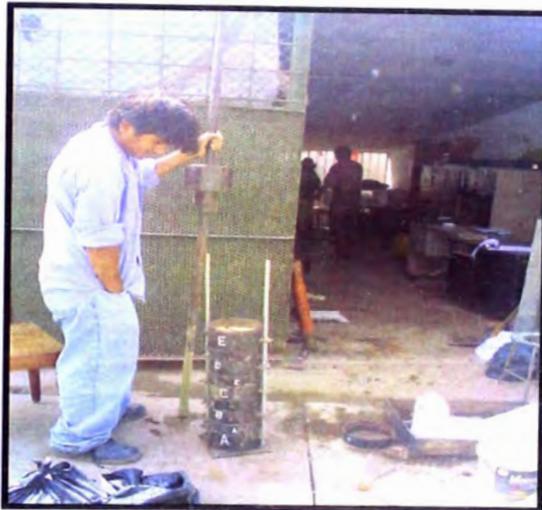


Fig. 11- 17 Ensayo penetración OPL en el laboratorio de suelos y geotecnia

El ensayo ha sido realizado con el material arcilloso limoso extraído de la parte superficial de la excavación, habiéndose tamizado por una malla de abertura $\frac{1}{4}$ ".

El Ensayo Razón Soporte California (CBR) ASTM O 1883, incluido el ensayo Proctor Modificado ASTM C 1555

También se ha tomado el valor de la humedad natural del suelo degradado ya colocado en campo, con la finalidad de determinar la cantidad de agua a añadir a dicho suelo de tal forma de verificar el 100% de grado de saturación necesario. Para que el suelo arcillo limoso que conforma el terreno de fundación sea degradado de tal manera que el valor de la capacidad de soporte baje hasta valores menores a 1 % de CBR, es necesario humedecerlo a tal punto que el

grado de saturación sea del 100 %. El volumen de agua a añadir es calculado de la siguiente manera:

Volumen del relleno con material degradado

$$V_t = 3.35 \times 1.0 \times 0.60 = 20.1 \text{ Om}^3$$

$$W_{WADIC} = (w_{WADIC} / W_s) V_t$$

$$W_{WADIC} = (w_{WADIC} / W_s) V_t \longrightarrow W_{WADIC} = W_s \times w_{WADIC}$$

$$W_{WADIC} = (W_{SAT} - W_{NAT}) \times \gamma_d \times V_t$$

Donde:

W_{WADIC} = Peso de agua adicional

W_{SAT} = Humedad de saturación

W_{NAT} = Humedad Natural

γ_d = Densidad Húmeda

V_t = Volumen Total

W_w = Peso del agua

W_s = Peso suelo

Cálculo de la humedad de saturación:

$$w = W_w / W_s$$

$$w = (V_w \times \gamma_w) / (V_s \times \gamma_s)$$

$$V_w \times \gamma_w = (w / \gamma_w) \times V_s \times \gamma_s$$

$$G_s \times w = S \times e$$

S = 1 (Estado saturado)



$$W_{SAT} = (1.0 \times e) / G_s$$

Considerando los resultados de laboratorio:

$$G_{S1} = 2.54$$

$$G_{S2} = 2.60$$

$$G_{Sprom} = 2.57$$

$$e = (G_s / \gamma_d) - 1$$

$$e = (2.57 / 1.53) - 1$$

$$e = 0.6791$$

$$W_{SAT} = 1.0 \times 0.679 / 2.57$$

$$W_{SAT} = 0.264$$

$$W_{SAT} = 26.4\%$$

$$W_s = r_d \times V_s$$

$$W_s = 1.53 \text{ gr/cm}^3 \times 20.1 \text{ m}^3 \times (100 \text{ cm})^3 / (1 \text{ m})^3$$

$$W_s = 30,954.0 \text{ kg}$$

$$W_s = 30.954 \text{ ton}$$

$$W_{MADIC} = f_{..} \cdot W \times W_s = (W_{SAT} - W_{NAT}) \times W_s / 100 = (26.4 - 2.07) \times 30.954 / 100$$

$$W_{MADIC} = 7.51 \text{ ton}$$

$$W_{MADIC} = 7.53 \text{ m}^3$$

Luego de los cálculos respectivos para llegar a un grado de saturación del 100 %, se ha determinado que el volumen de agua a añadir es 7.53 m³.

Para conservar el agua a añadir se ha impermeabilizado la excavación mediante un plástico grueso de buena resistencia, el cual fue colocado en toda el área.



Fig. 11- 18 Impermeabilización de la excavación

Luego de haber impermeabilizado la excavación se procedió a rellenar con material arcilloso-limoso el cual ha sido previamente zarandeado. Este material fino fue colocado por capas sin compactar, solo ha sido acomodado mediante una tablilla para darle el nivel de subrasante.



Fig. 11-19 Relleno con material arcilloso limoso



Fig. 11- 20 Avance del relleno con el material fino



Fig. 11- 21 Relleno casi a nivel de subrasante terminada

Luego de efectuado la degradación del suelo de fundación hasta el nivel de subrasante, se procedió a darle la humedad necesaria para obtener el valor del CBR dentro del rango de aplicación ($< 1\%$), y aplicar el geotextil como función de refuerzo y estabilización. La cantidad de agua ha resultado luego del cálculo de la humedad natural del suelo degradado, y la humedad del grado de saturación para la cual dicho material presenta valores de capacidad de soporte en el rango especificado. La diferencia entre la humedad requerida y la humedad natural multiplicada por el volumen total nos resulta la cantidad de agua a añadir.

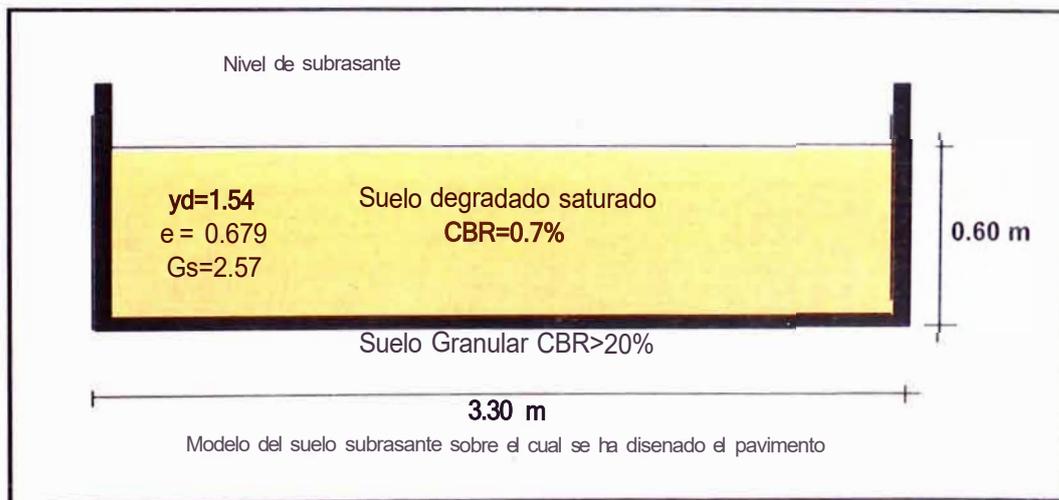


Fig. 11- 22 Esquema de la subrasante degradada

Luego de añadir el agua resultante para llegar a degradar el suelo en los términos indicados el nivel de la subrasante degradada se presenta saturada tal como se aprecia en la siguiente vista.



Fig. 11- 23 Vista del suelo degradado con CBR igual a 0.7 %

En estas condiciones se procedió a colocar el geotextil como refuerzo y estabilización de la subrasante, verificando antes que dicha superficie se encuentre lo mas uniforme posible, eliminando piedras, pedazos de ramas, protuberancias o cualquier otro material que pudiera afectar la integridad del geotextil. El geotextil es tendido sobre toda la superficie del tramo, siendo el ancho del mismo mayor al ancho de la vía experimental, se procedió a doblar hacia los bordes laterales y anclarlo mediante clavijas hacia los estratos adyacentes.



Fig. 11- 24 Colocación del geotextil tejido TR4000, como refuerzo

Se procedió a colocar las plantillas respectivas para la primera capa en un espesor de 0.15 m. Se utilizó un nivel y una mira para realizar dicha operación. Luego se procedió a rellenar dicha capa con material tipo afirmado con CBR igual a 80 %. Esta conformación se realizó con personal peón, evitando en lo posible de tirar el material bruscamente sobre la misma de tal manera de no dañar el geotextil. Luego con un rastrillo y lampas se va extendiendo hacia toda la superficie.



Fig. 11- 25 Conformación de la primera capa de afirmado sobre el geotextil

Luego de conformada la primera capa, se observó que dicha superficie presentaba zonas un tanto inestables, y no fue posible realizar la compactación mediante equipo mecánico, por lo que tuvo que efectuarse una compactación mediante pisones manuales, de tal forma de brindarle una consistencia parcial a dicha capa para luego recibir la capa superior.



Fig. 11- 26 Compactación mediante pisones manuales para la 1ra capa

Se realizaron los controles de compactación para dicha capa (2 puntos), resultando valores entre 82% y 85% de grado de compactación. Para esta aplicación con geotextiles esta primera capa debe limitarse grados de compactación a valores de 87% como máximo, debido a la imposibilidad de compactar con equipo mecánico.

Luego fue colocada la segunda capa en un espesor de 0.20 m., se compactó mediante equipo mecánico (plancha vibratoria), y se procedió a tomar los controles de compactación.



Fig. 11- 27 Compactación mecánica de la capa 2



Fig. 11- 28 Vista de la prueba de densidad en la capa 2

La tercera y cuarta capa fue colocada de la misma forma que la segunda. En la foto se aprecia la puesta de plantillas para un espesor de 0.15 m, de la cuarta capa y el control de compactación para la tercera capa.

Los resultados de dichos controles se adjuntan en anexos de Ensayos de Laboratorio.



Fig. 11- 29 Vista de colocación plantilla para la capa 4, y control compactación capa 3



Fig. 11- 30 Compactación de la capa final

Luego de tomaron los controles de compactación resultando valores por encima del 93 % hasta un 95 %. El espesor total de la vía afirmada del presente trabajo es de 0.65 m, considerando un refuerzo con geotextil tejido TR4000. Las siguientes vistas presentan la vía afirmada terminada.



Fig. 11- 31 Vista de la vía afirmada reforzada con geotextil tejido TR 4000 terminada



Fig. 11- 32 Otra vista de la vía terminada

2.5.4 Evaluación de la vía afirmada

Para evaluar las bondades del refuerzo del geotextil tejido incorporado a la estructura de la vía afirmada, se ha realizado una evaluación de carga, mediante el deflectómetro denominado viga Benkelman.

La Evaluación estructural mediante la viga Benkelman se ha efectuado con el propósito de conocer las deformaciones, y ahuellamientos que experimenta las capas de la vía cuando es sometida a una determinada carga



Fig. 11- 33 Demarcado de los puntos para ensayos de deflexiones



Fig. 11- 34 Posicionamiento de la viga para su demarcación, respecto al eje del volquete



Fig. 11- 35 Puesta en estación viga Benkelman



Fig. 11- 36 Vista del Extensómetro de precisión que mide las deformaciones



Fig. 11- 37 Medida de las deflexiones en la vía afirmada

Los resultados de la Evaluación Estructural mediante la viga Benkelman, ha verificado un buen comportamiento de la vía afirmada reforzada con geotextil, donde los ahuellamientos son mínimos.

Asimismo utilizando el modelo matemático de HOGG, se ha verificado que los valores de CBR de la subrasante son concordantes con los hallados mediante ensayos de laboratorio. Valores de CBR cercanos al 1%.

2.5.5 Material de Afirmado (relleno)

El material de relleno que se ha utilizado como superficie de rodadura para el tramo experimental ha consistido de material de préstamo tipo afirmado, el cual

proviene de la cantera Santa Rita, ubicado en el km. 39 de la carretera Panamericana Norte, en la localidad de Puente Piedra.

Se tomaron muestras para realizar ensayos de laboratorio de tal forma de determinar sus propiedades mecánicas, y verificar las Especificaciones Técnicas respectivas para este uso.

Los ensayos de laboratorio efectuados han sido los siguientes:

- Análisis Granulométrico por tamizado ASTM O 422
- Límites de Atterberg (LL, LP) ASTM O 4318
- Humedad Natural ASTM O 2216
- Razón Soporte California (CBR) ASTM 01883

El material tipo afirmado puede describirse como grava limosa con partículas subangulosas TM 3", con menor porcentaje de arenas, color amarillo claro, de baja plasticidad. La clasificación en el Sistema Unificado SUCS es GM, y en el Sistema de Clasificación AASHTO como A-1-b(O).

CAPITULO 111 DISEÑO DE PAVIMENTOS

Los caminos por la conformación de sus capas superiores y superficie de rodadura no pavimentadas pueden ser clasificados como sigue:

- Camino de tierra constituido por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo;
- Caminos Gravosos, constituidos por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75 mm.
- Caminos afirmados, constituidos por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipo de material: piedra, arena y finos o arcillas, siendo el tamaño máximo 25 mm.
- Caminos con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales.

3.1 DISEÑO TRADICIONAL DE PAVIMENTOS

3.1.1 METODOLOGIA DE DISEÑO

El diseño del pavimento ha sido realizado utilizando el Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de bajo volumen de Transito. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles tiene como una de sus funciones emitir los Manuales de Diseño y Especificaciones Técnicas para la ejecución de los Proyectos Viales.

3.1.2 PARAMETROS DE DISEÑO

El presente Manual considera soluciones estructurales con materiales tradicionales cuyas propiedades mecánicas y comportamiento son conocidos y están considerados en las Especificaciones Técnicas para la Construcción de Caminos de Bajo Volumen de Transito EG-CBT 2005.

En el funcionamiento estructural de las capas de revestimiento granular influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos por día o durante el periodo de diseño, incluido las cargas por eje y la presión de los neumáticos.

La demanda medida en EE (Ejes Equivalentes) o por vehículos pesados, es particularmente importante para ciertos tipos de caminos de bajo volumen pero que, pudieran tener alto porcentaje de vehículos pesados, como los que se construyen para propósitos especiales como el minero y el forestal (extracción de madera)

3.1.3 TRAFICO

Desde el punto de vista del diseño de la capa de rodadura solo tienen interés los vehículos pesados (buses y camiones), considerando como tales aquellos cuyo peso bruto excede de 2.5 ton.

El resto de los vehículos que puedan circular con un peso inferior (motocicletas, automóviles, y camionetas) provocan un efecto mínimo sobre la capa de rodadura, por lo que no se tiene en cuenta en su calculo.

Se presenta el cuadro N° 01, con valores de tráfico proyectado al año 10:

CUADRO 111- 1 Valores de tráfico proyectado

LASE	T0	T1	T2	T3	T4
IMDa (total vehiculos ambos sentidos)	< 15	16 - 50	51 - 100	101 - 200	201 - 400
Vehiculos pesados (carril de diseño)	< 6	6 - 15	16 - 28	29 - 56	57 - 112
N° repeticiones (carril de diseño)	< 25 x10+04	78x10+04	1.5 x 10+05	3.1 x10+05	6.1 x10+05

Para la obtención de la clase de tráfico que circula para el tramo en estudio, se realizara lo siguiente:

- Identificación de subtramos homogéneos de la demanda.
- Conteo de tráfico en ubicaciones estratégicas por un periodo mínimo de 3 días (1 día de semana + sábado + domingo), de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículos.
- El estudio deberá ser complementado con información, de variaciones mensuales, provenientes de estaciones de conteo y/o pesajes del MTC,

cercanas al tramo en estudio, que sea representativo de la variación del tránsito del proyecto.

- Con los datos obtenidos se determinará el número de vehículos (IMDa) y la cantidad de vehículos pesados (buses+camiones) para el carril de diseño, suficientes para definir la clase de tipo de tráfico. No obstante será necesario obtener el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño.
- El concepto de EE corresponde a la unidad normalizada por la AASHTO, que representa el deterioro que causa en la capa de rodadura un eje simple cargado de 8.16 toneladas. Para el cálculo de los factores destructivos por eje equivalente calculados se toma en cuenta el criterio simplificado de la metodología AASHTO, aplicando las siguientes:

CUADRO 11- 2 Valores de Ejes Equivalentes

Tipo de Eje	Eje Equivalente EE 8.2 tn
Eje simple de ruedas simples	(P/6.6) E+04
Eje simple de rueda doble	(P/8.16) E+04
Eje Tandem de rueda doble	(P/15.1) E+04
Eje Tridem de rueda doble	(P/22.9) E+04
P=peso por eje en tn.	

También se considerará un factor de ajuste por presión de neumáticos, de tal manera de computar el efecto adicional de deterioro que producen las altas presiones de los neumáticos en el deterioro de los afirmados. Este efecto se incrementa más, para el caso de las capas de revestimiento granular en altura, donde la baja presión atmosférica genera un aumento de la presión interna del neumático, reduciendo su área de contacto y aumentando la presión sobre la capa de rodadura. Para evitar este efecto en el cálculo de los EE, las llantas deberían tener una presión máxima de 80 psi.

Para el cálculo del Número de Repeticiones de Ejes Equivalente de 8.2 ton, se usarán las siguientes expresiones por tipo de vehículo pesado, el resultado final será la sumatoria de los tipos de vehículos pesados considerados:

$$N_{rep} \text{ de EE } 8.2 \text{ tn} = \left(\frac{EE_{día \text{ carril}}}{365} \right) \left(1 + I' \right)^{-1} \dots \dots \dots (1)$$

$$EE \text{ día carril} = EE \times \text{Factor Direccional} \times \text{Factor Carril}$$

$$EE = N^{\circ} \text{ veh\u00edculos seg\u00fan tipo} \times \text{Factor de carga} \times \text{Factor de Presi\u00f3n de llantas}$$

Donde:

Nrep de EE 8.2 tn: N\u00famero de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn.

EE d\u00eda-carril: Ejes Equivalentes por d\u00eda para el carril de dise\u00f1o.

365: N\u00famero de d\u00edas del a\u00f1o.

t Tasa de proyecci\u00f3n de trafico, en cent\u00e9simas

EE: Ejes Equivalentes.

Factor Direccional: 0.5 corresponde a caminos de dos direcciones por calzada.

Factor Carril: 1, corresponde a un carril por direcci\u00f3n o sentido.

Factor de Presi\u00f3n de Llantas: 1, este valor se estima para los CBVT y con capa de revestimiento granular.

3.1.4 SUBRASANTE

La subrasante es la capa superficial, de terreno natural. Para la construcci\u00f3n de caminos se analizar\u00e1 hasta 0.45 m de espesor, y para rehabilitaci\u00f3n los \u00faltimos 0.20 m.

Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tr\u00e1nsito y las caracter\u00edsticas de los materiales de construcci\u00f3n de la superficie de rodadura, constituyen las variables b\u00e1sicas para el dise\u00f1o del afirmado, que se colocar\u00e1 encima.

Se identifican cinco categor\u00edas de subrasante:

S0: SUBRASANTE MUJY POBRE	CBR<3%
S1: SUBRASANTE POBRE	CBR=3% \u00b7 5%
S2: SUBRASANTE REGULAR	CBR=6% \u00b7 10%
S3: SUBRASANTE BUENA	CBR=11% \u00b7 19%
S4: SUBRASANTE MUJY BUENA	CBR>20%

Se consideraran como materiales aptos para la coronaci\u00f3n de la subrasante suelos con CBR igual o mayor de 6%.

En caso de ser menor se procederá a eliminar esa capa de material inadecuado y se colocará un material granular con $CBR > 6\%$; para su estabilización.

Igualmente se estabilizarán las zonas húmedas locales y áreas blandas sobre la subrasante natural se colocara una capa de arena de espesor 20 cm. mínimo y sobre ella, se añadirá una capa de espesor de 0.30 m de material grueso rocoso o de piedras grandes.

El caso que se presenta considera un suelo de fundación de muy baja capacidad de soporte, cuyo rango de aplicación es menor a 1%. El diseño considera un CBR de subrasante igual a 0.7 %.

Para efectos del diseño del afirmado también se definirán sectores homogéneos a lo largo de cada uno de ellos, donde las características del material de subrasante se identifican como uniforme.

Dicha uniformidad se establecerá sobre la base del Estudio de Suelo y de ser necesario, la realización del muestreo.

Para la identificación de sectores homogéneos se analizará lo siguiente:

A. Reconocimiento

Se efectúa un proceso de inspección visual, se identifican asentamientos, deslizamientos, etc. que puedan ser atribuidos a factores geotécnicos y se establece, las causas que la motivaron.

El reconocimiento visual de suelos y rocas debe complementarse con la observación de otras características del terreno y que ayudan a definir las propiedades de este, como topografía, geomorfología, vegetación, zonas húmedas o cursos naturales de agua y sobre todo los taludes de cortes existentes próximos al tramo.

B. Diagnostico

Si el reconocimiento del terreno permite su clasificación inmediata, pueden realizarse algunas calicatas de comprobación cada 500 m y los ensayos

confirmatorios. Caso contrario si en el terreno se detectara su naturaleza problemática, se deberá establecer un programa de muestreos y ensayos.

C. Programa de Prospecciones y Ensayos

Se establecerá una estrategia para efectuar el programa exploratorio, y a partir de ello se ordenará la toma de las muestras necesarias de cada perforación, de manera de poder evaluar aquellas características que siendo determinantes en su comportamiento, resulten de sencilla e indiscutible determinación.

Las propiedades fundamentales a tomar en cuenta son:

Granulometría: El Análisis Granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño. De acuerdo al tamaño de sus partículas de suelo, se definen los siguientes términos:

CUADRO 11- 3 Tamaño de Partículas

Tipo de material	Tamaño de las partículas
Grava	75 mm - 2 mm
Arena	2 mm - 0.05 mm
Limo	0.05 mm - 0.005 mm
Arcilla	menor a 0.005 mm

El Ensayo de Análisis Granulométrico se realiza según la Norma Técnica MTC E 107.

Plasticidad: depende no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El Análisis Granulométrico no permite apreciar esta característica por lo que es necesario determinar los Límites de Atterberg. A través de este método, se definen los límites correspondientes a los tres estados en los cuales puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites, llamados límites de Atterberg, son: el límite líquido (LL) determinación según Norma MTC E 110, el límite plástico (LP) determinación según Norma MTC E 111, y el límite de contracción (LC) determinación Norma MTC E 112.

De acuerdo a la plasticidad del suelo, se definen los siguientes términos:

CUADRO 111- 4 Indice de Plasticidad

Indice de Plasticidad	Características
IP > 20	suelos muy arcillosos
20 > IP > 10	suelos arcillosos
10 > IP > 4	suelos poco arcillosos
IP = 0	suelos exentos arcillas

Se debe tener en cuenta que, en un suelo el contenido de arcilla, es el elemento más peligroso de una carretera, debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua.

Equivalente de Arena: es un ensayo que da resultados parecidos a los obtenidos mediante la determinación de los límites de Atterberg, aunque menos preciso. Tiene la ventaja de ser muy rápido y fácil de efectuar según Norma MTC E 114.

El valor de EA da la plasticidad del suelo;

CUADRO 111- 5 Equivalente de Arena

Equivalente de Arena	Características
si EA > 40	el suelo no es plástico, es de arena
si 40 > EA > 20	el suelo es poco plástico y r.o heladizo
si EA < 20	el suelo es plástico y arcilloso

Índice de Grupo. Es un índice adoptado por AASHTO de uso corriente para clasificar suelos, esta basado en gran parte en los límites de Atterberg. El índice de grupo de un suelo se define mediante la siguiente fórmula:

$$IG = 0.2*(a) + 0.005*(ac) + 0.01*(bd)$$

Donde:

a = F₃₅ (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200), expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40

b = F₁₅ (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200), expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40

$c = LL - 40$ (LL = límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20

$d = IP - 10$ (IP = índice plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

Si el suelo de subrasante tiene:

CUADRO 11- 6 Índice de Grupo

Índice de Grupo	Suelo de Subrasante
IG > 9	Muy Pobre
IG esta entre 4 a 9	Pobre
IG esta entre 2 a 4	Regular
IG esta entre 1 a 2	Bueno
IG esta entre 0 a 1	Muy Bueno

Humedad Natural: otra característica importante de los suelos es su humedad natural; puesto que la resistencia de los suelos de subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten. Se determinará mediante la Norma MTC E 108.

La determinación de la humedad natural permitirá compararla con la humedad óptima que se obtendrá en los ensayos Proctor para obtener el CBR del suelo.

Clasificación de los Suelos: determinadas las características de los suelos, según los acápites anteriores, se podrá estimar con suficiente aproximación el comportamiento de los suelos, especialmente con el conocimiento de la granulometría, plasticidad e índice de grupo, y, luego clasificar los suelos.

Se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO y ASTM

CUADRO 111- 7 Clasificación de Suelos

Clasificación de Suelos AASHTO	Clasificación de Suelos ASTM
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, se
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Ensayos CBR: una vez que se haya clasificado los suelos por el Sistema AASHTO, para caminos con tránsito mayor a 100 vehículos por día, se elaborará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo, a partir del cual se determinará los suelos que controlarán el diseño y se establecerá el programa de ensayos y/o correlaciones para establecer el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo, referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm.

El valor del CBR de diseño por sector homogéneo, se determinó según lo siguiente:

Si el sector homogéneo presenta para el periodo de diseño, un Número de Repeticiones de EE 8.2 tn., menor de 1×10^5 el CBR de diseño será aquel que represente al percentil 60% de los valores de CBR.

Si el sector homogéneo presenta un Número de Repeticiones de EE 8.2 tn., entre 1×10^5 y 1×10^6 , el CBR de diseño será aquel que represente al percentil 75% de los valores de CBR.

En resumen:

- Deberá identificarse los tramos homogéneos, con una longitud mínima de 1500 m, clasificar el material de subrasante y definir el CBR de diseño. En los puntos críticos si los hubiera, se efectuaran trabajos especiales necesarios para definir su solución.
- se deberá determinar el volumen de Ejes Equivalentes (EE) que deberá soportar el afirmado, durante el periodo de diseño escogido.

- Se escogerá el diseño del afirmado, entre las alternativas del catálogo adjunto, que corresponde a una solución que, en razón de los materiales y la tecnología disponibles, signifique un menor costo de construcción.

3.1.5 CALCULO DE ESPESORES

Catálogo Estructural de Superficie de Rodadura

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado, se adoptó como representativa la siguiente ecuación del método NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities), hoy AUSTRROADS, que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en Número de Repeticiones de EE.

$$e = \frac{(219 - 211 \times (\log_{10}(\text{CBR})) + 58 \times (\log_{10}(\text{CBR})^2) \times (\log_{10}(\text{Nrep} / 1120)))}{10} \dots (2)$$

Donde:

e = Espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = Valor del CBR de la subrasante

Nrep = Número de Repeticiones de EE para el carril de diseño

Los valores de tráfico que considera el Manual de Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Transito, varia desde un mínimo de 2.5×10^4 hasta un máximo de 6.1×10^5 . Para efectos del cálculo del espesor para el pavimento experimental se asume un valor de tráfico igual a 150,000 pasadas correspondiente a un tráfico tipo T2.

Aplicando la ecuación general del cálculo de espesores "e" indicado, se ha confeccionado la tabla siguiente, donde se aprecia los espesores de afirmado que se requiere colocar por encima del suelo de subrasante, para un diseño tradicional sin refuerzo.

CUADRO 111- 8 Espesor del Afirmado

TRAFICO	CBR subrasante	Espesor (e)
150,000	0.7 %	0.78 m

El espesor total determinado, esta compuesto por una capa de afirmado; por la granulometría del material y aspectos constructivos, el espesor de la capa de afirmado no será menor de 150 mm.

Para caminos de muy bajo volumen de transito, menor a 50, se estudiaran y analizaran diferentes alternativas constructivas de capas granulares, incluyendo estabilización con gravas.

3.2 DISEÑO DE PAVIMENTOS CON GEOTEXTILES

3.2.1 CONSIDERACIONES PARA DISEÑO

Introducción

La metodología de diseño que se describe en este capítulo contempla la utilización de geotextiles para el refuerzo de vías afirmadas.

El geotextil de refuerzo colocado a nivel de subrasante se escoge técnicamente para mejorar la capacidad portante de todo el sistema, sin embargo para evaluar el aporte del geotextil de refuerzo se puede hacer el análisis cuantitativo de varias formas:

Incremento de la capacidad portante del sistema

La utilización de un geotextil de refuerzo en las vías permite incrementar la capacidad portante del sistema que conforman las capas estructurales de la vía, y la forma más común de introducir ese incremento es dentro de las propiedades mecánicas que presenta la capa de subrasante de la vía en estudio.

Para la utilización de la metodología de diseño que se describe en este capítulo, se supone que el suelo de subrasante tiene las siguientes propiedades:

Suelo saturado, con baja permeabilidad y con un comportamiento no drenado bajo cargas tales como el tráfico, lo que significa que el suelo de subrasante es incompresible y tiene un ángulo de fricción casi nulo. La capacidad portante se puede determinar con el CBR de la subrasante, medido para las condiciones más críticas de densidad y de humedad.

Reducción de espesores de la capa granular

Otra forma de evaluar los efectos de la utilización de un geotextil de refuerzo sobre la subrasante es mediante la reducción del espesor de la capa granular que conforma la estructura del sistema.

Esta capa se diseña con el fin de distribuir los esfuerzos generados por la aplicación de cargas en la superficie del pavimento en un área mayor, de tal forma que a nivel de subrasante los esfuerzos no sobrepasen la resistencia a tensión admisible del geotextil para garantizar la estabilidad general de la estructura.

La utilización de un geotextil de refuerzo en la subrasante permite incrementar la capacidad portante de todo el sistema y esto se puede representar con la reducción en el espesor de la capa granular de la estructura de pavimento.

Incremento de la vida útil

El incremento de la vida útil de diseño es otro parámetro que se puede evaluar con la utilización de un geotextil de refuerzo. En el diseño inicial, se supone una vida útil y se trabaja con un tránsito estimado correspondiente al número de años de diseño.

El tránsito se lleva a un número de ejes equivalentes, con lo que se calculan los esfuerzos y las deformaciones admisibles para definir la estructura de pavimento. Al incrementar la capacidad portante del sistema con la utilización del geotextil se aumentan los valores admisibles de esfuerzos y deformaciones, lo que se puede interpretar como un incremento del número de ejes equivalentes, es decir de la vida útil de la vía.

3.2.2 ANALISIS TEORICO

Los geotextiles utilizados para el refuerzo de vías permiten mejorar el funcionamiento de la estructura de pavimento, teniendo como base un espesor inicial de capa granular sin geotextil para una condición de carga (tráfico) dada, comparado con un espesor disminuido por utilización del geotextil, para la misma condición de tráfico. (El análisis también se puede hacer para un espesor de material granular establecido y un incremento del tráfico que va a pasar sobre la vía).

La metodología que se presenta en este documento permite calcular la reducción del espesor de la capa granular y hacer la selección del geotextil adecuada para el refuerzo de la estructura. Esta metodología se basa en la teoría utilizada para el refuerzo de estructuras no pavimentadas sobre suelos de subrasante cohesivos definidas por Jean Pierre Giroud y Laure Noiray, sin embargo se lleva al caso de vías pavimentadas, teniendo en cuenta que durante el proceso constructivo se presentan condiciones similares de esfuerzos y deformaciones en la subrasante y en las capas granulares y que el geotextil de refuerzo trabaja igual en ambos casos, mejorando el comportamiento de la capa estructural de la vía.

El comportamiento del geotextil dentro de la estructura de pavimento, actuando como un elemento capaz de absorber los esfuerzos a tensión presentados por acción de las cargas a nivel de subrasante, mejorando el comportamiento estructural de la vía.

Definiciones Generales

1. Geometría

En la sección transversal de una vía se define como h_0 el espesor de la capa granular cuando no se utiliza geotextil, como h el espesor de la capa granular cuando hay geotextil y Lih la reducción de espesor de la capa granular que resulta de la introducción de un geotextil a nivel de subrasante. Para este método analítico se supone que el suelo de subrasante es homogéneo y que tiene un espesor suficiente para desarrollar una zona plástica. En nuestro caso:

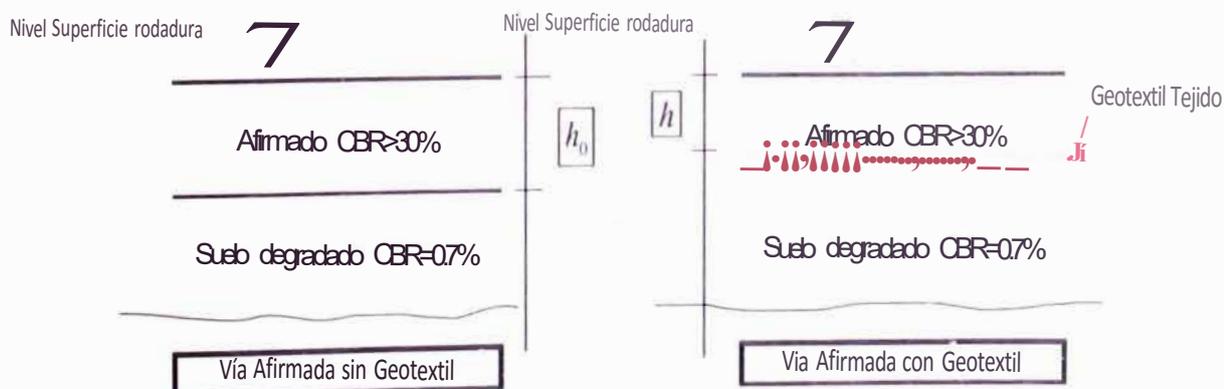


Fig. 111_ 1 Esquema del pavimento sin refuerzo y con refuerzo

Donde:

h_0 = Espesor de la capa granular sin geotextil (m)

h = Espesor de la capa granular con geotextil (m)

Lh = Reducción del espesor de la capa granular como resultado del uso de geotextil (m)

2 Eje de carga

Todas las cargas de los vehículos se llevan a un eje simple de carga equivalente, que se utiliza para el desarrollo de la metodología de refuerzo. Inicialmente se consideraba un sistema de llantas dobles, que es lo que usualmente se presenta en las vías para los camiones y buses. Se consideraba que el eje de carga P se distribuye en las cuatro llantas y se considera como área teórica de contacto para cada par de llantas un rectángulo de área LXB .

$$P = 4 \times A_c \times p_i \quad (3)$$

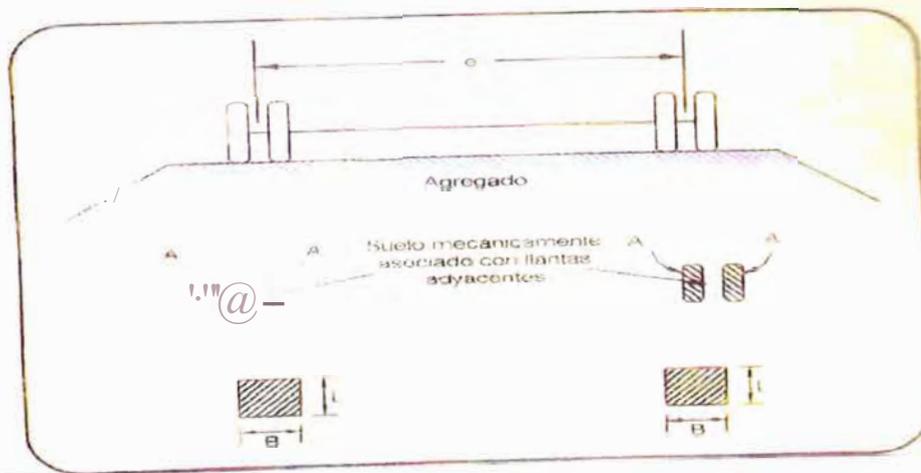


Fig. 111 2 Huellas de contacto equivalentes

Donde:

P : Carga Aplicada.

A_c = Área de contacto de una llanta (m²)

p_i = Presión de inflado (Pa)

La presión de inflado p_i se toma igual al promedio de la presión actual de contacto (no uniformemente distribuida) entre cada llanta y la capa granular. El suelo que se encuentra entre las llantas de un sistema doble está mecánicamente asociado a las llantas, sin que se presente falla de la capa granular y de la subrasante entre las llantas.

Por lo tanto se puede reemplazar cada una de las áreas de contacto dobles $2A_c$, por un rectángulo $L \times B$. Después de examinar varias huellas de llantas dobles se obtuvo el siguiente resultado:

$$L \times B = 2 \times J_2 \times A_{cl} \dots\dots\dots (4)$$

La presión actual de contacto (no uniforme distribuido) entre cada llanta y la capa granular induce al mismo efecto mecánico en la subrasante que una presión de contacto equivalente (uniformemente distribuida) entre el rectángulo $L \times B$ y la capa granular, de tal forma que:

$$Pr \text{ presión} = \frac{Fuerza}{Area} \dots\dots\dots (5)$$

$$IP = 2 \times L \times B \times p_{eJ} \dots\dots\dots (6)$$

Para determinar la relación entre la presión de contacto equivalente " p_e ," y la presión de inflado " p_i ", se emplean las ecuaciones anteriores llegando a la ecuación 7:

$$\frac{p_i}{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots (7)$$

3. Material granular

El material granular debe cumplir con las propiedades requeridas para garantizar una adecuada distribución de la carga aplicada. Tanto para las capas de subbase granular como de base granular, el material debe cumplir con las exigencias físico-mecánicas correspondientes y con las condiciones de instalación requeridas.

4. Suelo de subrasante

Para nuestra aplicación el suelo de subrasante se supone saturado con una baja permeabilidad. Sin embargo, bajo la aplicación de carga rápida como la carga de tráfico, el suelo de subrasante trabaja bajo condición no drenada, por lo tanto se presentan las siguientes propiedades:

- El suelo de subrasante es incompresible
- El ángulo de fricción es nulo

Bajo este concepto, la resistencia al corte es igual a la cohesión no drenada.

El valor de CBR de la subrasante se obtiene de ensayos de laboratorio, el valor a utilizar debe ser CBR saturado para trabajar con las condiciones más críticas y desfavorables del material.

También se puede evaluar con el penetrometro de cono o deducirlo a partir del CBR del suelo con las siguientes ecuaciones (*):

$$C_u = 12.5 \sqrt{q_c} \quad (8)$$

$$C_u = 30,000 \times CBR^{1.1} \quad (9)$$

Donde:

C_u = Resistencia al corte no drenada (Pa)

q_c = Resistencia de cono (Pa)

(*) Referencia Bibliografía N° 3.

5. Propiedades del geotextil

Las propiedades mecánicas de los geotextiles que mayor aplicación tienen sobre esta metodología son las definidas por el comportamiento de tensión - elongación en un ensayo de tensión biaxial, donde la deformación lateral del geotextil es restringida.

La resistencia permite determinar cuánta carga puede soportar un geotextil, medida generalmente en términos de fuerza por unidad de longitud y no en unidades de esfuerzo (fuerza por unidad de área), debido a los problemas que se pueden presentar por la variación de espesor durante los ensayos, sobre todo en los geotextiles más delgados.

En cuanto a la resistencia de los geotextiles, existe una gran variedad de ensayos que tienen como objetivo determinar las propiedades de resistencia en función de la dirección, la uniformidad y la duración de la carga aplicada y del área sobre la cual se aplica la carga.

Sin embargo, para la aplicación de refuerzo la propiedad que gobierna en el comportamiento del geotextil es la resistencia a la tensión, definida como una fuerza de tensión por unidad de longitud. Esta propiedad se determina en el laboratorio con el ensayo de resistencia a la tensión por el método de la tira ancha (Wide width), y se obtiene la curva Fuerza - Elongación, necesaria para el diseño por refuerzo en aplicaciones viales.

Existe otro método de ensayo que permite obtener la resistencia a la tensión en términos de fuerza y la elongación del mismo, denominado método GRAB. Los fabricantes generalmente utilizan este ensayo como una herramienta de control de calidad, y no se debe utilizar como parámetro de diseño en las aplicaciones de refuerzo.

En la norma para la especificación de geotextiles para aplicaciones viales - Designación AASHTO M288, la resistencia a la tensión Grab., es un parámetro que se usa para definir el mínimo valor requerido para la supervivencia de los geotextiles en las diferentes aplicaciones (drenaje, separación, estabilización, refuerzo, control de erosión, barrera contra sedimentos y repavimentación), valor que varía según la clase de geotextil que se especifique.

Además del comportamiento a la tensión del geotextil, se deben tener en cuenta las características de fricción, considerando que para esta aplicación el geotextil tiene la rigidez suficiente para prevenir la falla de la capa granular por deslizamiento a lo largo de la superficie del mismo.

3.2.3 ANALISIS DE VIAS CON GEOTEXTIL

A.- Cinemática

El suelo de subrasante es un suelo incompresible y el asentamiento que se produce bajo las llantas causa levantamiento del suelo entre y a los lados de las llantas. La forma del geotextil se convierte en algo similar a una onda y como consecuencia se presenta una tensión del geotextil. Ver Figura siguiente.

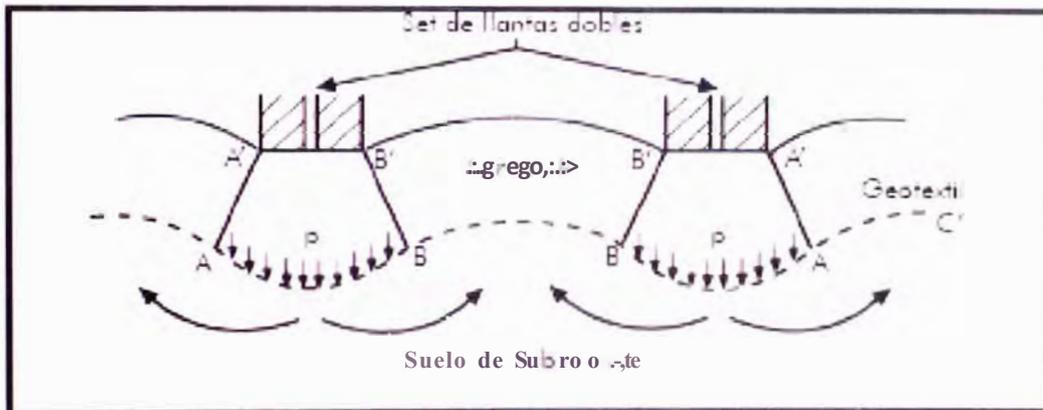


Fig. 111.3 Cinemática de vías con geotextil

Cuando un material flexible tensionado tiene una forma curva, la presión en la superficie cóncava es mayor que la presión en su cara convexa, lo que se conoce como **"efecto membrana"**

Entre las llantas (BB) y en los lados de las llantas (AC), la presión aplicada por el geotextil sobre la subrasante es mayor a la presión aplicada por la capa granular sobre el geotextil.

Bajo las llantas (AB), la presión aplicada por el geotextil sobre la subrasante es menor que la presión aplicada por las llantas más la capa de material granular sobre el geotextil.

El geotextil garantiza entonces dos efectos positivos para el comportamiento de la vía:

Provee un confinamiento "horizontal" de la subrasante entre y a los extremos de las llantas.

Permite reducir la presión aplicada por las llantas en el suelo de subrasante.

B.- Forma del geotextil deformado

La forma de onda del geotextil deformado se da por la condición incompresible del suelo. Se supone que la cantidad de material que se desplaza hacia abajo por el asentamiento que se presenta debe ser igual al volumen de material que se mueve hacia arriba por levantamiento.

La forma del geotextil deformado consiste en secciones de parábolas conectadas a unos puntos localizados en el plano inicial del geotextil (A, B). Además, se supone que el espesor de la capa de material granular no es afectado de forma significativa por la deflexión que sufre la subrasante, por lo tanto se tiene:

La deflexión total del geotextil es igual a la profundidad de ahuellamiento.

Se tienen las siguientes expresiones:

$$\underline{2a = B + 2h \times \tan a} \dots (10)$$

$$\underline{2a' = e - B - 2h \times \tan a} \dots (11)$$

Para el caso en que $a = a'$, el asentamiento "s" es igual a la mitad de la profundidad del ahuellamiento "r", condición supuesta en esta metodología.

$$\underline{s = r / 2} \dots (12)$$

Donde: r es el ahuellamiento

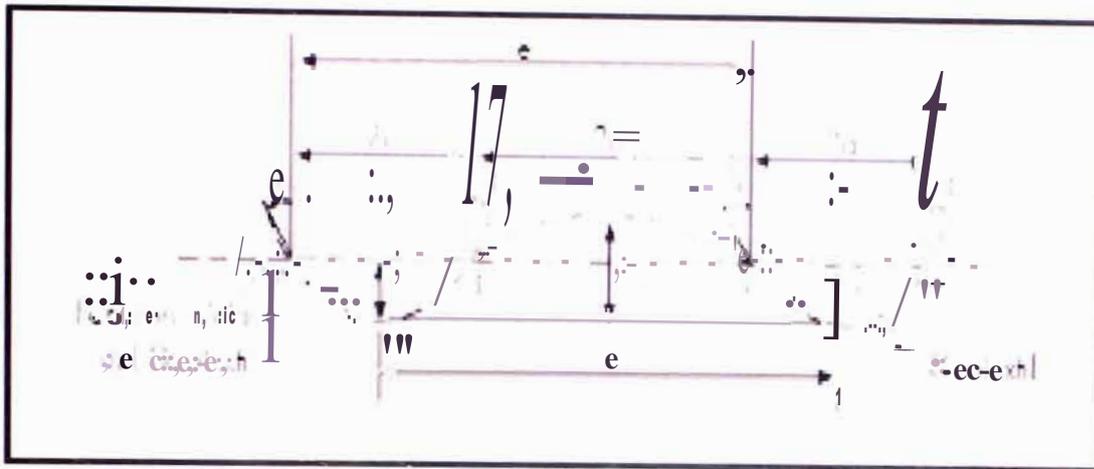


Fig. 111- 4 Forma del geotextil deformado

C.- Mecanismos de Falla

En una vía, la falla de la estructura puede presentarse en tres sitios diferentes:

- Capa granular
- Suelo de fundación (subrasante)
- Geotextil (si existe)

El método analítico no considera falla de la capa granular, suponiendo que el coeficiente de fricción del material es suficiente para asegurar la estabilidad mecánica de la capa y que el ángulo de fricción del geotextil en contacto con el material granular bajo las llantas es lo suficientemente grande para prevenir el deslizamiento de la capa sobre el geotextil.

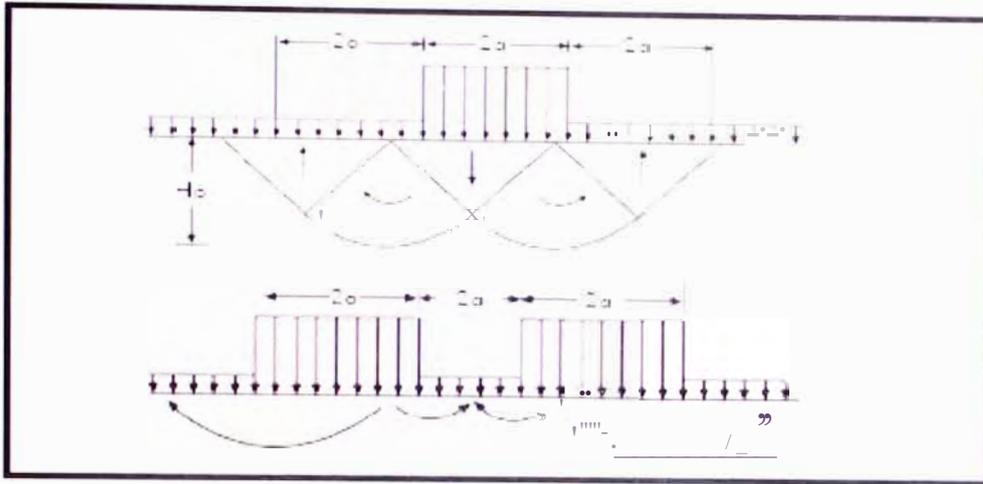


Fig. 111- 5 Transmisión de carga hacia la subrasante (1 rueda y 2 ruedas)

D.- Distribución de la carga por la capa granular

Según Giroud - Noiray, se toma la carga de un par de llantas de un eje simple como la presión p_{ee} con el área $B \times L$, que se disipa a través de un espesor " h_0 " de material granular sin geotextil y a través de un espesor " h " con geotextil.

La capa granular permite que la presión p_{ee} que se aplica en la superficie se distribuya en forma piramidal con la profundidad, por lo tanto se obtiene un esfuerzo " p_0 " a nivel de la subrasante sin geotextil y un refuerzo " p " con geotextil.

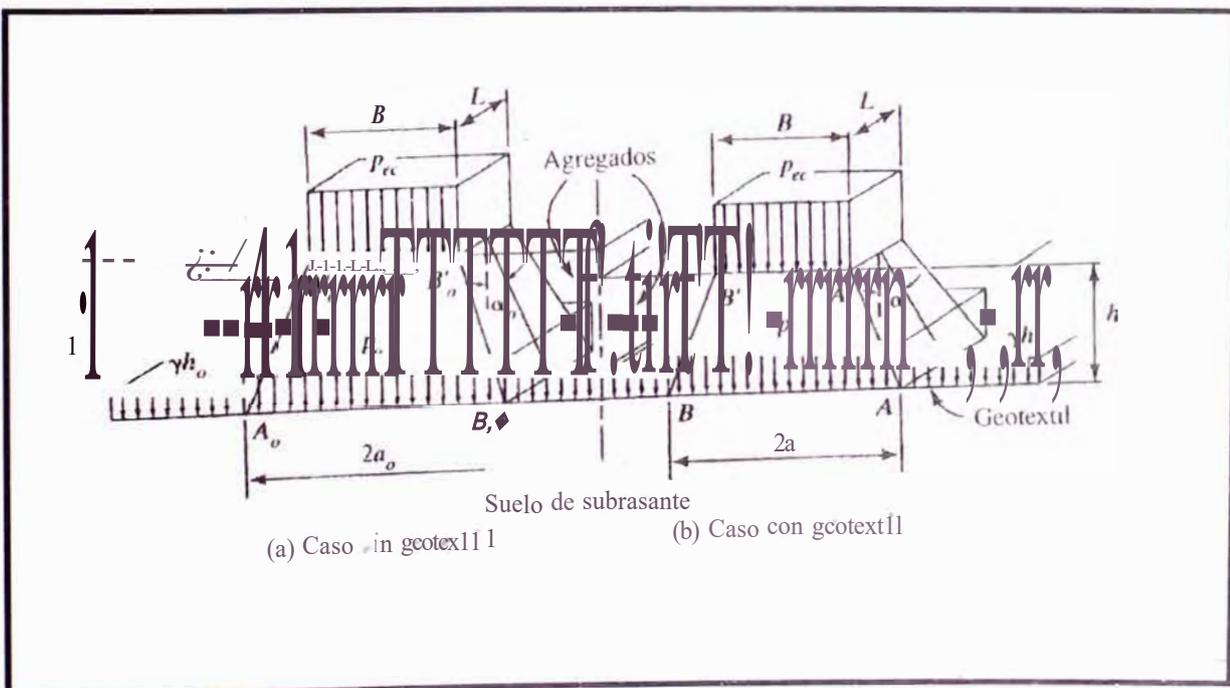


Fig. 111-6 Distribución de carga en la capa granular de una vía

Sin Geotextil:

$$P_0 = \frac{p}{2 \times (B + 2h_0 \times \tan a_0) \times (L + 2h_0 \times \tan a_0) + y \times 170} \dots (13)$$

Con Geotextil:

$$p = \frac{p}{2 \times (B + 2h \times \tan a) \times (L + 2h \times \tan a) + y \times h} \dots (14)$$

Tomando:

$$p = 2 \times L \times B \times p_{er} \dots (15)$$

$$p_{ec} = XL \times B1 \dots (16)$$

Donde:

y: Peso por unidad de volumen del material granular (N/m³)

p_{er}: Presión en la base de la capa granular cuando no hay geotextil (Pa)

p : Presión en la base de la capa granular cuando se usa geotextil (Pa)

a₀: Angulo de la pirámide de distribución de carga sin geotextil (°)

a : Angulo de la pirámide de distribución de carga con geotextil (°)

Aproximaciones de los valores de a₀ y a

Aproximación experimental. Considera la forma de la capa granular deformada con los valores de tan α

En una estructura vial la falla por deslizamiento del geotextil (o Pullout) es muy difícil que se pueda presentar, ya que la fuerza de anclaje que se genera entre el suelo y el geotextil esta dada por:

$$F_{\text{anclaje}} = 2 * (\sigma * L) \dots\dots (17)$$

La longitud L, a lo largo de la cual se desarrolla esta fuerza, es muy grande e influye directamente sobre el valor final de la fuerza de anclaje, por lo que esta también se hace muy grande, siendo capaz de soportar cualquier movimiento horizontal que se presente por acción de las cargas.

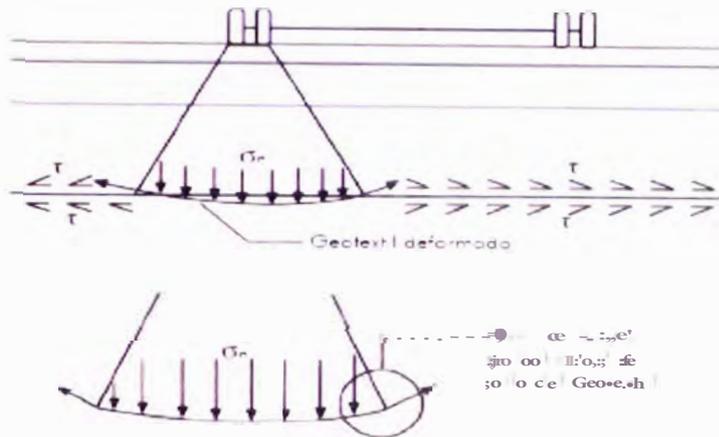


Fig. 111- 7 Esfuerzos de corte del Geotextil (Pullaut)

Cuando se inicia la transmisión de esfuerzos (tensión) sobre el geotextil, se presenta una deformación del mismo por efecto del empuje actuante. La zona que se observa en el detalle es por donde fallaría el geotextil, ya que es el punto crítico cuando dicho geotextil ofrece su mayor trabajo por resistencia a la tensión.

Por este motivo se debe calcular un factor de seguridad (FS) cuando se iguala a la resistencia a tensión del geotextil con el esfuerzo normal que esta siendo aplicado por la estructura con el paso de las cargas, garantizando de esta forma que el geotextil resistirá los esfuerzos y no se deteriora por este efecto.

Para obtener una estabilidad global del sistema el FSg que se debe conservar debe ser mínimo de 1.3. El principio mencionado anteriormente es el fundamento de la presente guía de diseño.

3.2.4 Método Analítico de J. P. Giroud y J. Han

Antecedentes

Hasta hace muy poco tiempo, se venían usando el método de diseño de Giroud y Noiray para determinar el espesor de la capa base en caminos no pavimentados y plataformas de trabajo de relleno granular. Giroud y Noiray (1981) desarrollaron dicho método clásico. Este método emplea la teoría de distribución de esfuerzos para calcular la presión vertical sobre la subrasante ejercidas por las cargas de rodadura en la superficie del camino. Se calcula el espesor básico del agregado que hace falta para reducir la presión vertical impartida a la subrasante a un valor igual a su capacidad de carga estimada.

El Método de Giroud y Noiray (G&N), supone que la presión del neumático se aplica sobre un área rectangular en la superficie y se distribuye de manera uniforme sobre áreas rectangulares progresivamente mayores con la profundidad. Las áreas de distribución están definidas por las líneas que descienden alejándose de los cuatro bordes de la carga superficial. La pendiente de estas líneas, desde la posición vertical, se llama ángulo de distribución de esfuerzos.

Considera la carga por rueda, la presión del neumático, y el esfuerzo de corte de la subrasante en los cálculos.

Se supone que el refuerzo del geotextil aumenta efectivamente la capacidad de carga disponible de la subrasante, cambiando el modo de falla de capacidad de carga "local" a "general", y considera el número de aplicaciones de carga y la profundidad de ahuellamiento aceptable.

Este método considera otros factores de importancia, tales como las propiedades de los materiales de la capa base y el refuerzo.

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

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

Fundamento del Método Giroud - Han

Este Método se basa en un modelo teórico, sin embargo, Giroud - Han calibraron el modelo utilizando los resultados de un programa de investigación especialmente desarrollado (2001) y realizado en North Carolina State University.

El Método Giroud - Han supone un área de contacto circular equivalente de la rueda y un área de presión circular en la subrasante. Por lo tanto, la superficie de distribución de esfuerzos forma un cono en lugar del trapecoide supuesto por el **Método G&N.**

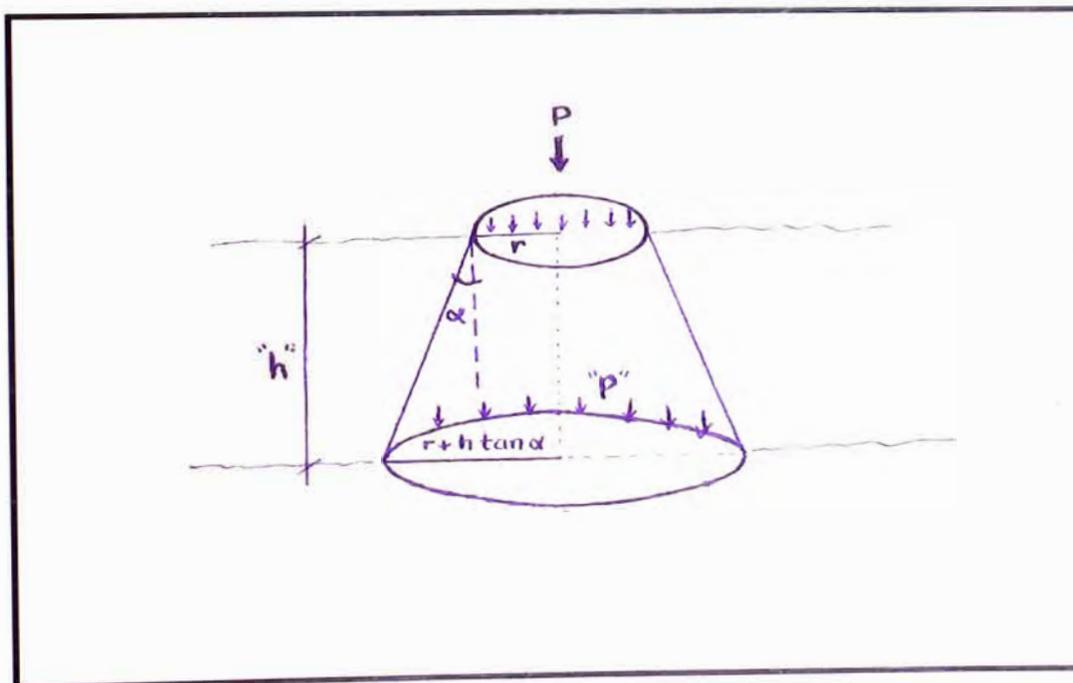


Fig. 111- 8 Distribución de presiones método Giroud - Han

La presión ("p") es igual al cociente entre la fuerza (F), y el área (A):

$$p = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (18)$$

La presión "p" a cualquier profundidad, "h", es entonces

$$p = \frac{P}{\pi r^2 (1 + \frac{2h}{r} \tan \alpha)} \quad \dots\dots (19)$$

Donde:

P : Carga por rueda

r: Radio de la huella de rueda equivalente

α : Angulo de distribución de esfuerzos

La profundidad requerida para distribuir la carga por rueda a una presión igual a la capacidad de carga de la subrasante, es: $q = 11k_e, N$.

Haciendo $p = q$, y reemplazando en la ecuación anterior se obtiene:

$$h = \frac{1}{\tan \alpha} \left[\frac{P}{\pi r^2 c_{II} N_e} - r \right] \quad \dots\dots (20)$$

Donde:

c_{II} : Esfuerzo de corte no drenado de la subrasante

N_e : Factor de capacidad de carga de la subrasante

m = Coeficiente de movilización de la capacidad de carga

El coeficiente de movilización de la capacidad de carga (m), da cuenta del hecho de que solo parte de la capacidad de carga completa se desarrolla en cualquier profundidad de ahuellamiento especificada. Este coeficiente es una función de "r/h" y "s", la profundidad del ahuellamiento.

El coeficiente "m" se calcula a partir de:

$$m = \left(\frac{S}{J} \right) \left\{ 1 - 0.9 \exp \left[- \frac{C}{n} \right] \right\} \dots \dots (21)$$

El valor de "m" varia desde casi 1.0 para bases de agregados relativamente delgadas con una profundidad de ahuellamientos de 3 pulgadas. Es menos de 1.0 para bases de agregados gruesas y/o profundidades de ahuellamientos menores de 3 pulgadas.

El ángulo de distribución de esfuerzos es mayor a través de una capa base de alto modulo de elasticidad que a través de un material de menor modulo. Giroud - Han relacionaron empíricamente el ángulo de distribución del esfuerzo inicial, a_0 , a través de una base rígida encima de una subrasante blanda con el ángulo de distribución de esfuerzos, a , a través de un material homogénea y con la relación de los módulos (o CBR) de la base y la subrasante de la siguiente manera

$$\tan a = \tan a_0 \times \left[1 + 0.204 \left(\frac{E_{be}}{E_{sg}} - 1 \right) \right] = \tan a_0 \left[1 + 0.204 \left(\frac{348 CBR_{be}^3}{CBR_{sg} \cdot CBR_{sg}} - 1 \right) \right] \dots \dots (22)$$

Donde:

E_{be} , E_{sg} = módulo de elasticidad de la capa base y la subrasante, respectivamente.

CBR_{be} , CBR_{sg} = CBR de la capa base y la subrasante, respectivamente.

Se utilizaron datos del programa de investigación de North Carolina State University para correlacionar el ángulo de distribución de esfuerzos con el número de ciclos de carga, N, lo cual produjo:

$$\tan a = \frac{\tan a_0}{1 + k \log N} \dots \dots (23)$$

Donde "k" es una constante derivada empíricamente según el espesor de la capa base y la propiedad del refuerzo del geotextil J, el modulo de elasticidad de la apertura.

Para el caso de refuerzos con geotextiles el modulo de elasticidad de la apertura es igual a J = 0

Se calibro el coeficiente de movilización de la capacidad de carga y se combinaron las ecuaciones para llegar a la ecuación 24, de diseño para calcular el mínimo espesor requerido de la capa base y/o afirmado.

Ecuación 24

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006J) \left\{ \Gamma \log N \right\}}{\left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{be}^{0.3}}{CBR_{sg}} - 1 \right) \right]} \sqrt{\frac{\frac{P}{m-2}}{f_s \left\{ 1 - 0.9e^{-j/r} \right\} N, CBR_{sg}}}} - 1 \Gamma$$

Donde:

h = Espesor requerido (m)

J = Apertura del módulo de elasticidad

P = Carga aplicada (KN)

N = Número de pasadas en la vida útil

CBRbc = CBR agregado

CBRsg = CBR subrasante

fs = Factor de profundidad de ahuellamiento (75 mm)

s = Profundidad de ahuellamiento (mm)

Ne = Factor de capacidad de carga

Fe = Factor de relación CBR, equivalente a Cu.

CUADRO 111- 9 Valores de Ne

REFUERZO	Ne
Sin refuerzo	3.14
Geotextil	5.14
Geomalla T	5.71

CUADRO 111- 10 Valores de J (Apertura del Modulo de Elasticidad)

REFUERZO	J
Sin refuerzo	0
Geotextil	0
Geomalla T	C.32

Para el caso de aplicaciones de refuerzo con geotextiles debe tomarse las siguientes consideraciones:

J = 0 (el geotextil no presenta abertura entre sus fibras)

Ne = 5.14 (reforzado con geotextil)

Ne = 3.30 (sin refuerzo)

Los parámetros considerados en el diseño son los siguientes:

CUADRO 111- 11 Parámetros de calculo para Diseño

PARAMETROS DE DISEÑO CON GEOTEXTILES

Carga Axial (2P)	Presión llantas (Tp)	CBRbe Afirmado	CBRsg subrasante	N (Pases ejes)	s (ahuellamiento)	Refuerzo Geotextil	Ne	J	fe
80 kN	550 kpa	80 %	0.7 %	150,000	75mm	TR 4000	5.14	0	21

La carga axial de (2P) 80 kN, y la presión de inflado de las llantas (Tp) 550 kpa, son valores especificados por las Normas de Diseño.

El Número de Pases de Ejes Equivalentes (N) igual a 150,000, ha sido tomado considerando un tráfico liviano tipo T2, de acuerdo a las indicaciones proporcionadas por el asesor.

El ahuellamiento de "s" igual a 3" (75 mm), considera una vía de bajo tráfico, concordante con la misma.

Giroud - Han sugiere limitar la relación del modulo a un valor máximo de $E_{bc}/E_{sg} = 5.0$, para dar cuenta de la incapacidad para compactar el material de la base eficazmente sobre subrasantes muy blandas.

El cálculo del espesor aplicando la formula general es iterativo y puede realizarse manualmente según los siguientes pasos:

Vía Afirmada sin refuerzo

Se inicia con un valor aproximado al 70% del espesor encontrado con otros diseños.

Ne= 3.14

Para **h = 0.60 m** (reemplazando datos en la ecuación 24)

$$h = \frac{0.868 + 0.66k \left(\frac{152r}{60} \right) \times \log 150,000}{1 + 0.204k(5 - 1)} \left[\frac{550}{0.11} \right]^{-1} \times 0.152$$

! I - 0.9xe 0.11 x 3.14 x 21 x 0.7

$$h = \frac{1.1043}{1.816} \times 1.1764 = 0.8449$$

Para **h = 0.8449** (reemplazando datos)

$$h = \frac{0.91}{1.816} \times 1.3106 = 0.8149$$

Para $h = 0.8149$ (reemplazando datos)

$$h = \frac{1.1430}{1.816} \times 0.2988 = 0.8174$$

Para $h = 0.8174$ (reemplazando datos)

$$h = \frac{1.1424}{1.816} \times 0.2999 = 0.8177$$

$$\underline{\underline{h = 0.818 \text{ m.}}}$$

Vía Afirmada con refuerzo de Geotextil Tejido

Se inicia con un valor aproximado al 70% del espesor encontrado con otros diseños.

$N_e = 5.14$

Para $h = 0.60$ m (reemplazando datos en la ecuación 24)

$$h = \frac{0.868 + 0.66 \times \left(\frac{0.152r}{0.60} \right) \times \log 150,000}{1 + 0.204x(5 - 1)} \left[\sqrt{\frac{550}{\left(\frac{75}{75} \right) \left[1 - 0.9 \times e^{-\frac{0.60}{(0.0001)}} \right] \times 5.14 \times 2 \times 0.7}} - 1 \right] \times 0.152$$

$$h = \frac{1.3043}{1.816} \times 0.8863 = 0.6366$$

Para $h = 0.6366$ (reemplazando datos)

$$h = \frac{1.2672}{1.816} \times 0.9072 = 0.6331$$

Para $h = 0.6331$ (reemplazando datos)

$$h = \frac{1.2705}{1.816} \times 0.9055 = 0.6335$$

$$\underline{jh = 0.634m. j}$$

Aplicando la ecuación para el cálculo de "h", y valiéndonos de una hoja de cálculo se resuelve la ecuación iterativa:

Considerando un diseño sin refuerzo, se obtiene el mismo valor del espesor de afirmado: 0.82 m.

DISEÑO DE VIA AFIRMADA SIN REFUERZO

PROCESO DE DISEÑO	
Giroud - Han	. VALOR ENTREGADO
Inicio de proceso iterativo, definición de "h":	• INGRESAR VALOR
h	0.819 m
Datos Iniciales:	
Carga Axial (2P)	80.00 kN
Presión de llanta (Tp)	550 kPa
CBRbc	8.0%
CBRsg	0.7%
$I_r = \sqrt{\frac{3 \cdot T_p l}{\dots}}$	r = 0.152 m. (Radio de contacto)
N (Pases de ejes) s (ahuellamiento)	150.00 veces 75 mm
Tipo de refuerzo:	Sin refuerzo
N _e	3.14
J	0 m-N/grado
f _e	21 kPa
Valor Ebc/Esg	18.51 O 5.00 Valor a usar en el cálculo
<i>Giroud-Han sugiere imitar esta relación del módulo a un valor máximo de 5. Opara dar cuenta de la incapacidad para compactar el material de la base eficazmente sobre subrasantes muy blandas</i>	
h=	0.818 (Espesor final calculado)

Considerando un diseño con refuerzo de geotextil, se obtiene espesor de afirmado: 0.63 m.

DISEÑO DE VIA AFIRMADA CON REFUERZO GEOTEXTIL

PROCESO DE DISEÑO	
Giroud - Han	. VALOR ENTREGADO
Inicio de proceso iterativo, definición de 'h':	• INGRESAR VALOR
h	<input type="text" value="0.634"/> m
Datos Iniciales:	
Carga Axial (2P)	<input type="text" value="80.00"/> KN
Presión de llanta (Tp)	<input type="text" value="550"/> Kpa
CBRbc	<input type="text" value="80"/> %
CBRsg	<input type="text" value="0.7"/> %
$I_r = \sqrt{\frac{3.1 l p l}{...}}$	r = 0.152 m. (Radio de contacto)
N (Pases de ejes)	<input type="text" value="150000"/> veces
s (ahuellamiento)	<input type="text" value="75"/> mm
Tipo de refuerzo:	<input type="text" value="Geotextil"/>
Ne	5.14
J	O m-N/grado
fe	21 kPa
Valor Ebc/Esg	<input type="text" value="18.510"/> <input type="text" value="5.00"/> !Valor a usar en el cálculo
<i>Giroud-Han sugiere limitar esta relación del módulo a un valor máximo de 5. Opara dar cuenta de la incapacidad para compactar el material de la base eficazmente sobre subrasantes muy blandas</i>	
h=L	<input type="text" value="0.634"/> (Espesor final calculado)

En resumen se presenta los espesores calculados de acuerdo a la Metodología de Giroud - Han. Finalmente se indica los espesores a colocar en obra.

CUADRO 111- 12 Espesores de vía afirmada

Tipo de Diseño	Tipo Refuerzo	Espesor Afirmado calculado	Espesor Afirmado
Diseño sin refuerzo	0.82 m	0.85 m
Diseño con refuerzo	Geotextil TR 4000	0.63 m	0.65 m

Por tanto la estructura de la vía afirmada sin refuerzo y con refuerzo de Geotextil Tejido queda de la siguiente manera:

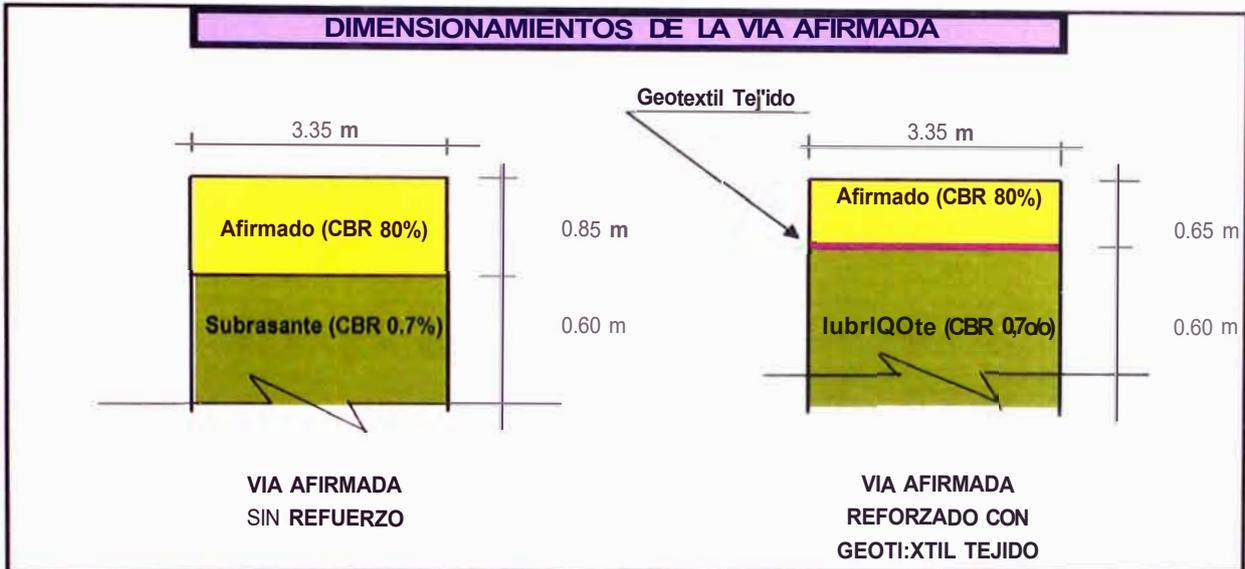


Fig. 111- 9 Dimensionamiento de la vía afirmada sin refuerzo y reforzado con Geotextil

3.2.5 VERIFICACION POR SEPARACION

En los casos en que el CBR de subrasante sea menor a 1%, se realiza un diseño por refuerzo y verificar los criterios del diseño por separación cuando el geotextil se coloca entre dos materiales de diferentes características o propiedades elásticas.

El geotextil utilizado en la presente aplicación del tramo experimental para vías afirmadas es el TR 4000, y las verificaciones por separación a realizar son las siguientes:

Resistencia a la Tensión GRAB (Norma ASTM D 4632)

Factor que actúa sobre el geotextil es el esfuerzo de tracción que se genera en el geotextil en su plano de deformación. Esto ocurre cuando el geotextil está "atrapado" por una capa granular y un suelo de subrasante.

Cuando una partícula superior es forzada contra dos partículas inferiores que están en contacto con el geotextil se genera un esfuerzo de tracción en su plano.

El Ensayo de Tensión según el Método GRAB, simula este proceso de laboratorio, determinando la carga de rotura (Resistencia GRAB) del geotextil y su elongación correspondiente (deformación - elongación G_{ra})).

El Geotextil se coloca en la interfaz subrasante - capa granular debe cumplir una resistencia mínima para que no falle por tensión.

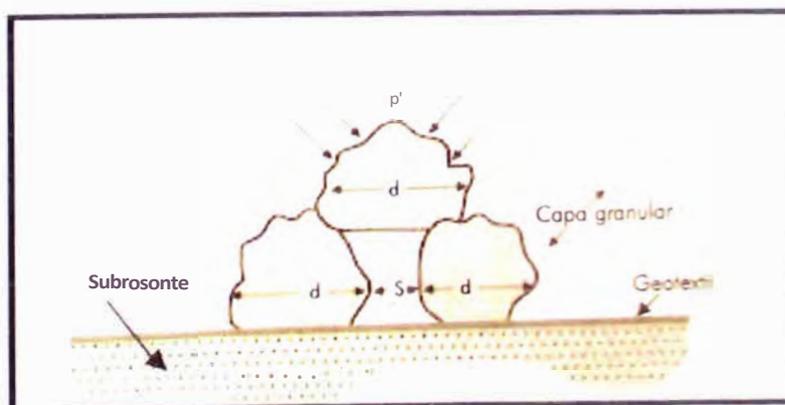


Fig. 111-10 Resistencia a la Tensión GRAB

$$T_{req} = p' \times 10^{-3} \times (d_c)^2 \times [r(c)] \dots\dots (25)$$

Donde:

T_{req} = Resistencia Grab requerida (N)

p' = Presión aplicada (kPa)

d_v = Diámetro máximo de los vacíos: $d_v = 0.33 d_n$ (mm)

d_n = Diámetro máximo de la partícula del agregado (mm)

$J(\epsilon)$ = Función de deformación (elongación) del geotextil (Ver tabla adjunta)

CUADRO 111-13 Valores de función de Deformación

$\epsilon(\%)$	$J(\epsilon)$	$E(\%)$	$J(\epsilon)$
0		25	0.55
2	1.47	30	0.53
4	1.23	35	0.52
6	1.08	40	0.51
8	0.97	45 - 70	0.5
10	0.9	75	0.51
12	0.8	90	0.52
14	0.73	100	0.53
16	0.69	110	0.54
18	0.64	120	0.55
20	0.58	130	0.56

Fuente: Referencia Bibliográfica N° 3

$$F_{sg} = \frac{T_m}{FSP \times p' \times 10^3 \times (0.33 d_v)^2 \times J(\epsilon)} \dots (25)$$

Donde: $F_{sg} > 1$

T_m = 2500 N (Valor correspondiente para el geotextil TR 4000)

ϵ = 23% (Valor correspondiente para el geotextil TR 4000)

d_n = 63.5 mm (Tamaño máximo de la partícula del afirmado)

$$p_p' = 550 k_p a$$

$$J_{[&]} 0.56 \text{ (Interpolando valores tabla)}$$

$$FS_p = 2$$

$$FS_g = 9.24 > 1 \quad \text{Cumple}$$

Resistencia al Estallido (Mullen Burst) (Norma ASTM 3786)

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

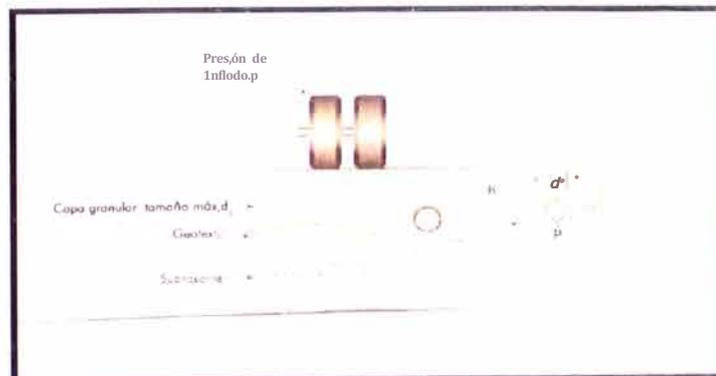


Fig. 11. 11 Resistencia al Estallido

$$T_{req} = P_{des1} \times d_{es1} \times \frac{1}{J_{[&]}} \quad \dots\dots (27)$$

$$T_T = \frac{P_{des1}}{2} \times d_{es1} \times \frac{1}{J_{[&]}} \quad \dots\dots (28)$$

Donde:

- T_{req} : Resistencia requerida del geotextil (kPa)
- p' : Esfuerzo en la superficie del geotextil: $p' < p$ (kPa)
- p : Presión de inflado (kPa)
- d_v : Diámetro máximo de los vacíos $d_v = 0.33 d_a$ (mm)
- d_a : Diámetro máximo de las partículas de agregados (mm)
- J : Función de deformación (elongación) del geotextil
- T_{ult} : Resistencia ultima del geotextil (kPa)
- P_{test} : Presión de ensayo Mullen Burst (kPa)
- d_{test} : Diámetro del diafragma - ensayo Burst (=30.48 mm)

$$FS_g = \frac{P_{test} \times d_{test}}{FS_{req} \times p' \times d_v} \dots\dots (29)$$

$$FS_g > 1$$

Considerando $FS'' = 2$

$$FS_g = \frac{46.2 \times P_{test}}{P' \times d_v} \dots\dots (30)$$

$$P_{test} = 1190 \text{ N}$$

$$p' = 550 \text{ kPa}$$

$$d_a = 63.5 \text{ mm}$$

Verificamos el factor de seguridad global (ecuación 29):

$$FS_g = 1.57 > 1 \quad \text{Cumple}$$

Resistencia al Punzonamiento (Norma ASTM 4833)

Además de cumplir la función de separación, el geotextil de separación debe resistir el proceso de instalación sin que sus propiedades iniciales sufran modificaciones importantes.

Así se garantiza el buen funcionamiento del geotextil durante la vida útil de la vía. Materiales punzonantes, piedras angulares, ramas de árboles, desechos de construcción, y otros tipos de objetos que se encuentren sobre el suelo (subyacente) que quede en contacto con el geotextil pueden romperlo o desgastarlo cuando se coloque la capa granular y se apliquen las cargas de tráfico sobre la estructura.

Se debe calcular la fuerza vertical que actuara sobre el geotextil bajo estas condiciones, y verificar que el geotextil que se coloque resista el punzonamiento que se genere.

El Ensayo de Resistencia al Punzonamiento simula esta condición en el laboratorio y permite calcular la máxima resistencia que tiene un geotextil bajo la acción de un punzonamiento.

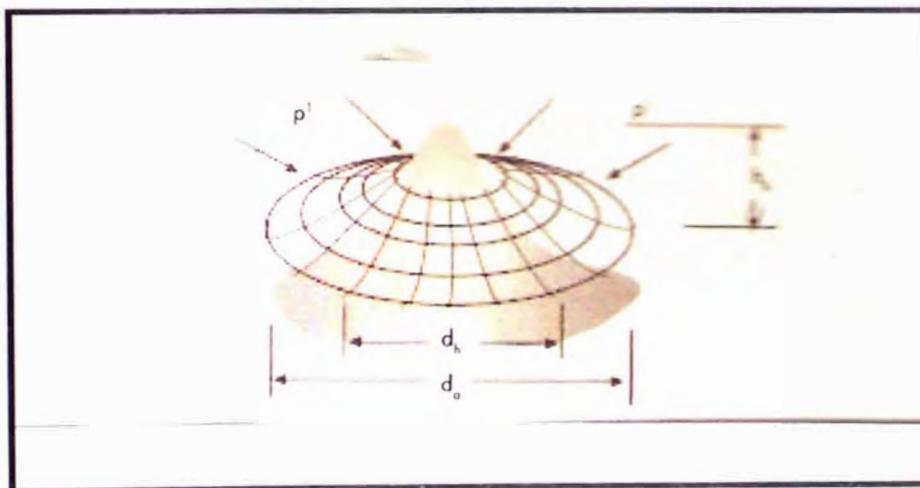


Fig. 11f_ 12 Punzonamiento causado por una partícula sobre el geotextil

$$F_{req} = \frac{1}{39.36} \times p' \times d_a^2 \times S_1 \times S_2 \times S_3 \dots\dots (31)$$

Donde:

F_{req} :Fuerza vertical que el geotextil debe resistir (N)

p' Presión aplicada (kPa)

p Presión de inflado (kPa)

d^a : Diámetro máximo de partículas de agregado o partículas angulares (mm)

S_1 : Factor de punzonamiento (empuje) del suelo o partículas subyacentes al geotextil

$$S_1 = \frac{I_{vi}}{I_a}$$

h'' : Altura de empuje. $h'' < d_n$,

S_2 : Factor de escala para ajustar el diámetro del vástago de punzonamiento del ensayo al diámetro de la actual partícula punzonante: $S_2 = 0.3 I_{d_a}$

S_3 : Factor de forma para ajustar la forma del vástago de punzonamiento del ensayo a la forma de la actual partícula punzonante: $S_3 = 1 - \frac{A_p}{A_c}$

A_p : Área proyectada de la partícula

A_c : Área del menor círculo circunscrito

CUADRO 111- 14 Coeficientes de A_p/A_c

Descripción	$\frac{A_p}{A_c}$
Arena Ottawa	0.8
Grava	0.7
Roca triturada	0.4
Roca extraída por medio dinamita	0.3

Fuente: Referencia Bibliográfica N° 3

$$FS_g = \frac{T_{v1} \times 39.36}{FS_p \times p' \times d_n^2 \times S_1 \times S_2 \times S_3} \dots\dots (32)$$

$$FS_g > 1$$

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

$$S_2 = 0.33$$

$$S_2 = \frac{0.3}{d_a}$$

$$S_3 = 0.3$$

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

$$FS_g = \frac{T_m}{FS_p \times T_{req}} \dots\dots (33)$$

$$T_{req} = FS_g \times FS_p \times (t \cdot 3 \times 10^{-3} \times p' \times d) \dots\dots (34)$$

Considerando:

$$FS_g = 2$$

$$FS_p = 2$$

$$p' = 550 \text{ kPa}$$

$$d_o = 63.5 \text{ mm} \text{ (Grava de partículas 2.5")}$$

$$T_m = 181.6 \text{ N}$$

El valor de la Resistencia al Punzonamiento del Geotextil Tejido TR 4000 es:

$$T_{req} = 1330 \text{ N}$$

El geotextil TR 4000, presenta una resistencia última al punzonamiento de 1330 N, mayor al requerido, por lo que se considera satisfactorio.

CAPITULO IV: EVALUACION ECONOMICA

4.1 Análisis

La Evaluación Económica ha sido efectuada para el tramo experimental de vía afirmada, donde se ha realizado el cálculo para una vía afirmada, considerando un diseño tradicional sin refuerzo, con otro diseño considerando geotextil tejido como refuerzo y estabilización de la subrasante.

4.2 Resumen de diseño de vía afirmada

4.2.1 Diseño de vía afirmada sin refuerzo

El diseño tradicional de la vía afirmada ha sido efectuada considerando el "Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Transito".

Asimismo se considera que el material granular considerado como relleno y que conformará la superficie de rodadura debe de cumplir las Especificaciones Técnicas indicadas en la Metodología.

El espesor calculado de la vía afirmada sin refuerzo es el siguiente:

CUADRO 11- 15 Espesor de vía afirmada sin refuerzo

ESPESOR CALCULADO	ESPESOR FINAL
0.82 m	0.85 m

4.2.2 Diseño de vía afirmada con refuerzo (Geotextil Tejido)

El geotextil de refuerzo colocado a nivel de subrasante se escoge técnicamente para mejorar la capacidad portante de todo el sistema, sin embargo para evaluar el aporte del geotextil de refuerzo se puede hacer el análisis cuantitativo de varias formas:

El diseño de la vía afirmada reforzado con geotextil tejido ha sido efectuado utilizando el Método Analítico de J. P. Giroud y J. Han, aplicado a Geotextiles.

El espesor calculado para la vía afirmada utilizando geotextil tejido como material de refuerzo ha resultado:

CUADRO 111- 16 Espesor de vía afirmada con refuerzo de Geotextil

ESPEJOR CALCULADO	ESPEJOR FIN
0.63 m.	0.65m.

4.3 Comparación de Costos

La comparación de costos ha sido efectuado para el tramo de vía afirmada, a partir de los espesores calculados mediante las Metodologías de Diseño antes mencionados (Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Transito, Método Analítico de Giroud - Han), para lo cual han sido comparados los presupuestos totales, incluidos gastos generales e impuestos.

El siguiente cuadro indica el porcentaje de reducción de espesor de material granular considerando una vía no reforzada y otra reforzada con geotextil.

CUADRO 111- 17 Reducción de espesor de la vía afirmada

VIA SIN GEOTEXTIL	VIA CON GEOTEXTIL	REDUCCION ESPEJOR	%
85.0 cm.	65.0 cm.	20.0 cm	23.5

El ahorro en soles calculado luego de la comparación de un diseño sin refuerzo, versus un diseño reforzado con geotextil tejido.

CUADRO 111- 18 Porcentaje de ahorro de la vía afirmada

PRESUPUESTO	VIA SIN GEOTEXTIL	VIA CON GEOTEXTIL	DIF C	R0 (%)
COSTO TOTAL	6020.46 SOLES	5771.48 SOLES	248.98	4.13

Según los cálculos se puede concluir que para el trabajo experimental del tramo de vía afirmada utilizando geotextil como material de refuerzo, el ahorro es mínimo, comparado con un diseño sin refuerzo (4%), debido a que acá en Lima el costo del material granular, no es tan significativo como seria para una obra en la selva u otro lugar donde la cantera adecuada se encuentre muy distante a la obra.

(*) Información tomada de la Referencia Bibliográfica N° 8

CONCLUSIONES

- En zonas donde el suelo de fundación es pobre, con valores de Capacidad de Soporte California (CBR) menor a 1 %, y no existan canteras cercanas a la zona del proyecto, es recomendable incorporar dentro de la estructura del pavimento un geotextil como material de refuerzo estructural.
- Los geosinteticos mas utilizados en el medio son aquellos fabricados con Polipropileno.
- Se determino una metodología para disminuir el CBR de un suelo de 25% a 0.7%. La Metodología utilizada mediante el Penetrómetro Dinámico Liviano (DPL)
- Incorporar un refuerzo mediante un geosintetico, reduce el espesor de material granular del pavimento. Para el caso del refuerzo con Geotextil Tejido la reducción en el espesor de material de afirmado ha sido de 0.85 m a 0.65 m.
- El ahorro que se obtiene al realizar un diseño de una vía afirmada con un geotextil tejido como material de refuerzo, y otro sin refuerzo ha resultado del orden de 4 %. Este ahorro se puede incrementar hasta un valor del 20%, cuando la construcción se ejecuta al interior de la selva o sierra de nuestro país, y dependiendo de la ubicación a la cantera más cercana.
- El proceso de conformación de las capas que constituyen la estructura de la vía incorporando geotextil, debe realizarse con pisones manuales para la primera capa y para un espesor de 0.15 m, limitando el grado de compactación a valores por debajo del 85%, esto debido a que el suelo de fundación es muy blando, con equipos mecánicos vibratorios a partir de la segunda capa y las siguientes superiores, llegando a grados de compactación por encima del 95 %.
- La evaluación estructural mediante la viga Benkelman, ha reportado deflexiones que se encuentran dentro del rango máximo y mínimo de

acuerdo a las condiciones de diseño, con lo cual se concluye un adecuado comportamiento estructural de la vía afirmada reforzada con geotextil tejido.

- Los resultados de las deflexiones Benkelman nos proporcionan valores de CBR de la subrasante entre 1% y 2%. Considerando que esta evaluación es referencial para vías no pavimentadas, dichos valores de CBR de subrasante son compatibles con los hallados mediante ensayos de laboratorio.
- Los ahuellamientos encontrados están en el orden de 2 mm a 5 mm, siendo por lo tanto adecuado el comportamiento estructural.
- Es importante realizar el proceso constructivo siguiendo las Especificaciones Técnicas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la incorporación de geotextiles como material de refuerzo estructural de una vía, en caso se presenten subrasantes blandas y ausencia de canteras cercanas. Esta solución alternativa es viable y su aplicación debe ser asesorada muy de cerca por personal técnico calificado.
- Para evitar la perdida de agua en la vía experimental se empleo plástico simple para impermeabilizar las paredes y el fondo. Es recomendable revestir las paredes y el fondo de la poza con concreto o mortero, e impermeabilizar la misma mediante el empleo de una geomembrana.
- En posteriores análisis se debería considerar el efecto de confinamiento que produce la poza a la estructura del pavimento, ya que este ha sido construido en la poza mencionada donde las condiciones de borde no son las típicas que se tienen en pavimentos.
- Debe tomarse la recomendación referente a la compactación de la primera capa, indicando conformarlo en un espesor mínimo de 0.15 m, a un máximo de 0.20 m, y realizar un apisonado manual únicamente. El grado de compactación para esta capa debe oscilar entre 80 % a 85%.
- No debe exigirse grados de compactación por encima del 95% para la primera capa debido a la imposibilidad de compactar con equipo mecánico, ya que subyacente se encuentra un material muy blando.
- Para las capas subsiguientes si debe llegarse a valores por encima del 90%, 95% y 100 %, ya en la corona.
- El proceso constructivo debe realizarse siguiendo las Especificaciones Técnicas, existentes para este tipo de obra, e incluso se recomienda solicitar la asesoría técnica en el diseño, en la instalación y en el seguimiento del proyecto.

- El buen proceso constructivo, y el control de calidad de los productos que se utilizan en un proyecto, hace la diferencia entre diferentes tipos de soluciones, e incluso un geosintetico mucho mas costoso, comparado con otro de menor costo puede fallar si es que no se toma en cuenta dicha recomendación.
- De la aplicación de los geosisteticos en pavimentos, debe tomarse en consideración que a pesar de haber incorporado la GEOCELDA como material de refuerzo, versus el GEOTEXTIL, esta no funciona debido a una mala compactación en el proceso constructivo.
- Existen una gama de productos geosinteticos que pueden utilizarse como refuerzos dentro de la estructura de una vía. La selección acertada será aquella que cumpla eficazmente la función para el cual ha sido incluida y económicamente sea la más viable.
- Debe considerarse el diseño del sistema de drenaje de la vía y evaluar el comportamiento del conjunto, ya que en la vida practica los problemas de los pavimentos principalmente son causados por el agua.

BIBLIOGRAFIA

1. De Groot, M., Janse, E., Maagdenberg, T.A.C., Van den Berg (1986). "Design method and guidelines for geotextile application in road construction" (Método y Pautas de Diseño para la aplicación de productos geotextiles en la construcción de carreteras). Viena Vol. 3.
2. GEOTEX. Manual de Aplicación y Sistemas de Calculo para Geotextiles. GEOFORTE. Distribuidora Geotex del Perú S.A.C.
3. GEOSISTEMAS. Manual de Diseño. "Refuerzos en Vías con Geotextiles"
4. Giruod, J.P. y Noiray, L. (1981) "Geotextiles-reinforced unpaved road design" (Diseño de carreteras no pavimentadas reforzadas con Geotextiles). ASCE, Journal of Geotechnical Engineering, 107(9)
5. Huang, Y.H. (1993). Paviment Análisis and Design. (Análisis y Diseño de Pavimentos). Prentice Hall, 805 Pág.
6. Koerner Robert M. Designing with Geosynthetics. Traducción IGS-PERU, año 2002.
7. MTC. Manual para Diseño de Caminos No Pavimentados de bajo volumen de transito. Lima.
8. Silva Tello Carlos Jaime, Informe de Suficiencia para optar el Titulo de Ingeniero Civil, Aplicación de Geotextiles Tejidos en Vías Afirmadas, Evaluación Económica, Lima, 75 Pág.
9. Steward, J.E., Williamson, R. y Mohney, J. (1977). Guidelines for Use of Fabrics in Construcción of Low-Volume Roads. (Pautas para el Uso de Geotextiles en la Construcción de carreteras de bajo volumen). Informe N° FHWA-TS-78-205, Pacific Northwest Region Forest Service, U.S. Oepartament of Agricultura, Washington, DC, USA, 172 Pág.
10. The Tensar Corporation (1998). A Review of Geosynthetic Functions and Applications in Paved and Unpaved Roads (Revision de las funciones y aplicaciones Geosisnteticas en Carreteras Pavimentadas y no Pavimentadas). Nota técnica de TENSAR (TTN:BR11).45 Pág.

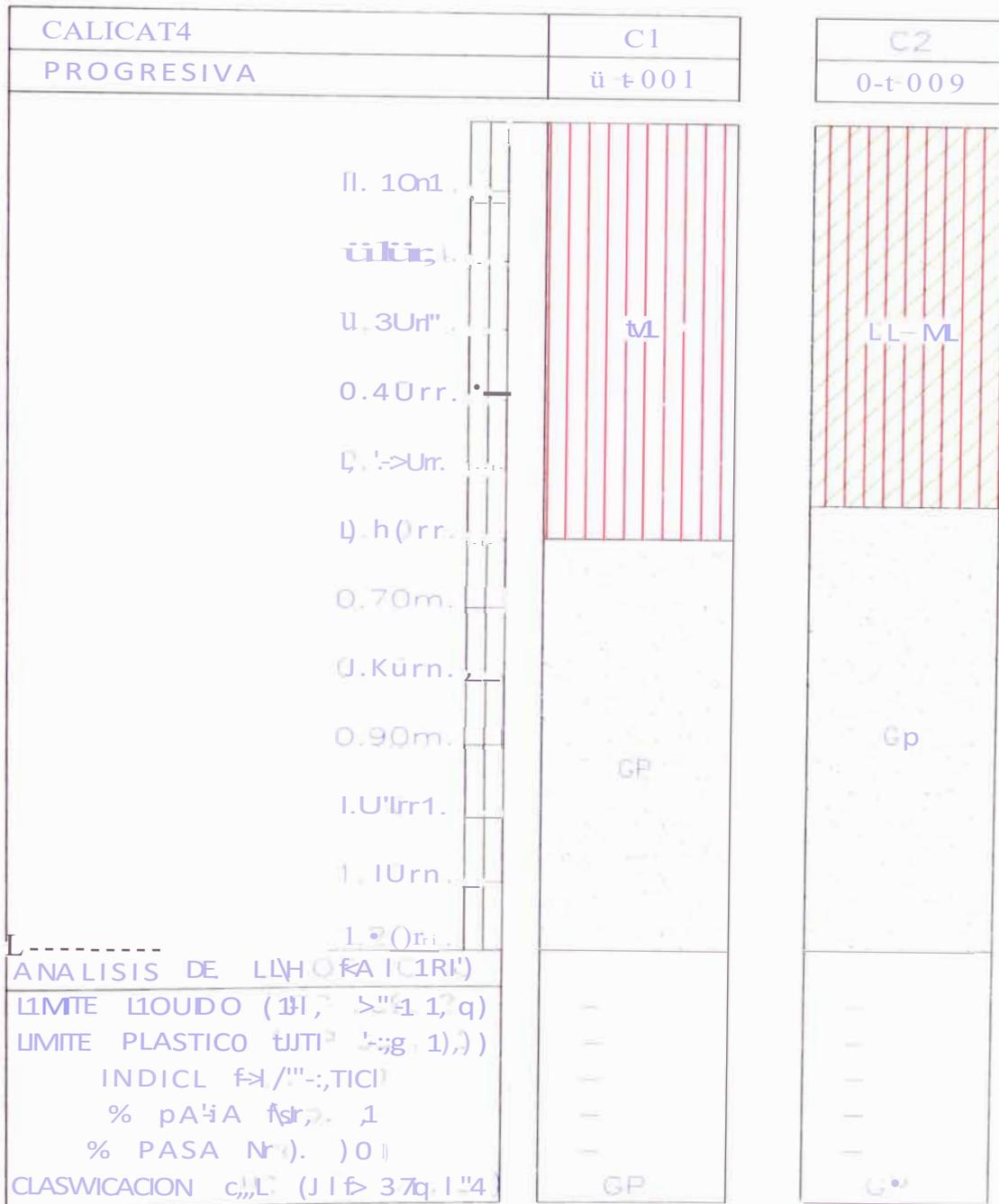
ANEXOS

PERFILES ESTRATIGRAFICOS

PERFIL ESIRATIGRAFICO

OBRA : TRAMÉJ Dr)RUEBA

UBICACION: I.N.H. AV. TUPAC AMARU PTA.4 - RI t1AC



LEYENDA:

-  GP GRAVA POBREMENTE GRADADA
-  LL10 BAJA cOtv1PRESIBILIDAD
-  ARCILLA BAJA COtvIPRESIBIUDAC

ENSAYOS DE LABORATORIO



LABORATORIO NACIONAL DE EJECUCIÓN DE OBRAS
- AREA DE GEOTECNICA APLICADA A LA HIDRAULICA



LABORATORIO GEOTECNICO

PROYECTO : Aplicación de Geotextiles en Vías Afirmadas
 SUBPROYECTO : Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACION : Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 HECHOS : L.F.A.N / M.H.N

FECHA

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D - 2216

IMUESTRAS control de saturacion

HORA	05:00 p.m.				
FECHA	08/05/07				
PROFUNDIDAD (m)					
FRASCO No	371	33	333	335	
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs	114.55	137.97	134.45	87.53
2. Peso recipiente + suelo seco	grs	93.39	112.86	109.08	70.09
3. Peso de agua	(1) - (2) grs	21.16	25.11	25.37	17.44
4. Peso de recipiente	grs	11.78	16.59	11.45	11.56
5. Peso de suelo seco	(2) - (4) grs	81.61	96.27	97.63	58.53
6. Contenido de humedad	(3)/(5)*100 %	25.93	26.08	25.99	29.80

IMUESTRAS

HORA	10:00:00 a.m.				
FECHA	09/05/07				
PROFUNDIDAD (m)					
FRASCO No	342	377	307	376	
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs	124.35	114.68	121.78	127.16
2. Peso recipiente + suelo seco	grs	102.06	92.67	101.31	107.60
3. Peso de agua	(1) - (2) grs	22.29	22.01	20.47	19.56
4. Peso de recipiente	grs	12.33	10.91	12.18	12.49
5. Peso de suelo seco	(2) - (4) grs	89.73	81.76	89.13	95.11
6. Contenido de humedad	(3)/(5)*100 %	24.84	26.92	22.97	20.57

IMUESTRAS

HORA	2:00:00 p.m.				
FECHA	09/05/07				
PROFUNDIDAD (m)					
FRASCO No	18	35	98	370	
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs	176.76	171.21	153.69	151.15
2. Peso recipiente + suelo seco	grs	149.58	140.66	129.90	125.87
3. Peso de agua	(1) - (2) grs	27.18	30.55	23.79	25.28
4. Peso de recipiente	grs	14.82	12.72	12.32	11.75
5. Peso de suelo seco	(2) - (4) grs	134.76	127.94	117.58	114.12
6. Contenido de humedad	(3)/(5)*100 %	20.17	23.88	20.23	22.15

Av. JupacAmaru.Puerta N° 1
 campus.de.la.Universidad.Nacional.de.Ingenieria
 Telf. 101)481-1070.anexo.302.Cel:99912;)87_95242588
 e-mail: lnhgeo@yahoo.com
 lnh_uni@uni.edu.pe



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA
AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



LABORATORIO GEOIC: :CNICO

PROYECTO: Aplicación de Geotextiles en Vías Afirmadas
SOLICITADO: Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
"5 de mayo de 2007"
LABORATORIO: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
L.F.A.N / M.H.N FECHA

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D - 2216

MUESTRAS control de saturacion

HORA	08:30:00 am			
FECHA	10/05/07			
PROFUNDIDAD (m)				
FRASCO No	362	377	28	312
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs 110.14	174.19	158.31	167.20
2. Peso recipiente + suelo seco	grs 90.00	140.32	128.71	140.01
3. Peso de agua	(1)-(2)grs 20.14	33.87	29.60	27.19
4. Peso de recipiente	grs 11.85	10.91	12.66	10.60
5. Peso de suelo seco	(2) -(4) grs 78.15	129.41	116.05	129.41
6. Contenido de humedad	(3)/(5)"100 % 25.77	26.17	25.51	21.01

MUESTRAS

HORA	2:00:00 p.m.			
FECHA	10/05/07			
PROFUNDIDAD (m)				
FRASCO No	304	363	30	305
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs 160.98	195.98	205.16	176.57
2. Peso recipiente + suelo seco	grs 130.36	165.05	172.87	148.31
3. Peso de agua	(1) - (2) grs 10.62	30.93	32.29	28.26
4. Peso de recipiente	grs 11.23	10.25	13.95	10.18
5. Peso de suelo seco	(2) -(4) grs 119.13	154.80	158.92	138.13
6. Contenido de humedad	(3)/(5)"100 % 25.70	19.98	20.32	20.46

MUESTRAS

HORA	6:00:00 p.m.			
FECHA	10/05/07			
PROFUNDIDAD (m)				
FRASCO No	317	383	337	16
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs 88.01	158.03	97.25	104.77
2. Peso recipiente + suelo seco	grs 75.34	135.54	80.85	90.11
3. Peso de agua	(1) - (2) grs 12.67	22.49	16.40	14.66
4. Peso de recipiente	grs 11.17	11.05	11.12	15.15
5. Peso de suelo seco	(2) -(4) grs 64.17	124.49	69.73	74.96
6. Contenido de humedad	(3)/(5)"100 % 19.74	18.07	23.52	19.56

RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

PROYECTO:	APLICACIÓN DE GEOTEXTILES TEJIDOS EN VIAS AFIRMADAS		
SOLICITA :	GRUPO N° 3 - CURSO DE TITULACION 2006 FIC	UBICACIÓN:	Laboratorio Nacional de Hidraulica - Universidad Nacional de Ingeniería

CONTROL DE EVAPORACION DE LA SUBÍASANTE

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4			M-1	M-2	M-3	M-4		
FECHA	08105/07	08105/07	08/05107	08/05107			09/05/07	09/05/07	09/05107	09105107		
HORA	05 00 p m			10 00 a m								
CLASIFICACION	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO		SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO	

Datos de Humedad

Wmuestra	2593	2608	2599	2980	2695	2482	2692	2297	2051	2382
----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4			M-1	M-2	M-3	M-4		
FECHA	09105107	09105107	09105107	09/05107			10105107	10105107	10105107	10105107		
HORA	02 00 p m			08 30 a m								
CLASIFICACION	SS-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO		SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO	

Datos de Humedad

Wmuestra	2077	2388	2023	2215	2161	2577	2517	2551	2111	2462
----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4			M-1	M-2	M-3	M-4		
FECHA	10/05/07	10/05107	10105107	10105107			10/05107	10/05107	10105107	10105107		
HORA	02 00 p m			06 00 p m								
CLASIFICACION	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO		SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO	

Datos de Humedad

Wmuestra	2510	1998	2032	2046	2162	1974	1901	2352	1956	2021
----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4			M-1	M-2	M-3	M-4		
FECHA	09105107	09105107	09105/07	09105107			09105107	09105117	09/05107	09105117		
HORA	12 00 a m			PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO					
CLASIFICACION	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO		SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO	

Datos de Humedad

Wmuestra	2293	2600	2259	2900	2620	2293	2200	2299	2200	2200
----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------



RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

PROYECTO:	APLICACIÓN DE GEOTEXILES TEJIDOS EN VIAS AFIRMADAS										
SOLICITA :	GRUPO N° 3 - CURSO DE TITULACION 2006 FIC	UBICACIÓN:	Laboratorio Nacional de Hidraulica - Universidad Nacional de Ingeniería								

CONTROL DE EVAPORACION DE LA SUBÍASANTE

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4			M-1	M-2	M-3	M-4		
FECHA	11/05/07	11/05/07	11/05/07	11/05/07			11/05/07	11/05/07	11/05/07	11/05/07		
HORA	08 00 a.m	08 00 a.m	08 00 a.m	08 00 a.m			05 34 00 p.m					
CLASIFICACION	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO		SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO	

Datos de Humedad

Wmuestr	2433	2409	2542	2395	2445		2059	2253	2217	1001	2001	
---------	------	------	------	------	------	--	------	------	------	------	------	--

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4			M-1	M-2	M-3	M-4		
FECHA	12/05/07	12/05/07	12/05/07	12/05/07			12/05/07	12/05/07	12/05/07	12/05/07		
HORA	02 30 p.m	02 30 p.m	02 30 p.m	02 30 p.m			06 00 p.m	06 00 p.m	06 00 p.m	06 00 p.m		
CLASIFICACION	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO		SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO	

Datos de Humedad

Wmuestr	2525	2343	2231	2337	2359		2211	1216	2271	1143	2261	
---------	------	------	------	------	------	--	------	------	------	------	------	--

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4			M-1	M-2	M-3	M-4		
FECHA	10/05/07	10/05/07	10/05/07	10/05/07			10/05/07	10/05/07	10/05/07	10/05/07		
HORA	02 00 p.m	02 00 p.m	02 00 p.m	02 00 p.m			06 00 p.m	06 00 p.m	06 00 p.m	06 00 p.m		
CLASIFICACION	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO		SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO	

Datos de Humedad

Wmuestr	2570	1998	2032	2044	<10<		1974	1807	2352	1900	2000	
---------	------	------	------	------	------	--	------	------	------	------	------	--

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4			M-1	M-2	M-3	M-4		
FECHA	14/05/07	14/05/07	14/05/07	14/05/07			14/05/07	14/05/07	14/05/07	14/05/07		
HORA	10 00 a.m	10 00 a.m	10 00 a.m	10 00 a.m			05 00 p.m	05 00 p.m	05 00 p.m	05 00 p.m		
CLASIFICACION	SC-SM	SC-SM	SG-SM	SG-SM	PROMEDIO		SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO	

Datos de Humedad

Wmuestr	2400	2387	2420	2377	2350		1808	2189	1957	2019	2000	
---------	------	------	------	------	------	--	------	------	------	------	------	--



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA
 AREA DE GEOTECNIA APLICADA - LA HIDRÁULICA



LABORATORIO GEOTECNICO

ROYECTO
 SOLICITADO
 JUSTIFICACION
 FECHA POR

Aplicación de Geotextiles en Vías Afirmadas
 Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 L.F.A.N / M.H.N
 FECHA MAYO 2007

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D - 2216

MUESTRAS control de saturacion

HORA	05:00 p.m.				
FECHA	08105/07				
PROFUNDIDAD (m)					
FRASCO No	371	33	333	335	
1. Peso recipiente + suelo húmedo	gs	114.55	137.97	134.45	87.53
2. Peso recipiente + suelo seco	gs	93.39	112.86	109.08	70.09
3. Peso de agua	(1) - (2) gs	21.16	25.11	25.37	17.44
4. Peso de recipiente	gs	11.78	16.59	11.45	11.56
5. Peso de suelo seco	(2) - (4) gs	81.61	96.27	97.63	58.53
6. Contenido de humedad	(3)/(5)*100 %	25.93	26.08	25.99	29.80

MUESTRAS

HORA	10:00 a.m.				
FECHA	09/05/07				
PROFUNDIDAD (m)					
FRASCO No	342	377	307	376	
1. Peso recipiente + suelo húmedo	gs	124.35	114.68	121.78	127.16
2. Peso recipiente + suelo seco	gs	102.06	92.67	101.31	107.60
3. Peso de agua	(1)-(2) gs	22.29	22.01	20.47	19.56
4. Peso de recipiente	gs	12.33	10.91	12.18	12.49
5. Peso de suelo seco	(2) - (4) gs	89.73	81.76	89.13	95.11
6. Contenido de humedad	(3)/(5)*100 %	24.84	26.92	22.97	20.57

MUESTRAS

HORA	2:00:00 p.m.				
FECHA	09/05/07				
PROFUNDIDAD (m)					
FRASCO No	18	35	98	370	
1. Peso recipiente + suelo húmedo	gs	176.76	171.21	153.69	151.15
2. Peso recipiente + suelo seco	gs	149.58	140.66	129.90	125.87
3. Peso de agua	(1) - (2) gs	27.18	30.55	23.79	25.28
4. Peso de recipiente	gs	14.82	12.72	12.32	11.75
5. Peso de suelo seco	(2) - (4) gs	134.76	127.94	117.58	114.12
6. Contenido de humedad	(3)/(Sr)100 %	20.17	23.88	20.23	22.15



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA
 AREA DE GEOTECNIA APLICADA - LA HIDRÁULICA



LABORATORIO GEOTECNICO

PROYECTO : Aplicación de Geotextiles en Vías Afirmadas
 SOLICITADO : Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACION : Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 TECNICO : L.F.A.N / M.H.N. FECHA: MAYO 2007

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D - 2216

MUESTRAS control de saturacion

HORA	08:30:00 a.m.			
FECHA	10/05/07			
PROFUNDIDAD (m)				
FRASCO No	362	377	28	312
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs 110.14	174.19	158.31	167.20
2. Peso recipiente + suelo seco	grs 90.00	140.32	128.71	140.01
3. Peso de agua	(1) - (2) grs 20.14	33.87	29.60	27.19
4. Peso de recipiente	grs 11.85	10.91	12.66	10.60
5. Peso de suelo seco	(2) - (4) grs 78.15	129.41	116.05	129.41
6. Contenido de humedad	(3)/(5)*100 % 25.77	26.17	25.51	21.01

MUESTRAS

HORA	2:00:00 p.m.			
FECHA	10/05/07			
PROFUNDIDAD (m)				
FRASCO No	304	363	30	305
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs 160.98	195.98	205.16	176.57
2. Peso recipiente + suelo seco	grs 130.36	165.05	172.87	148.31
3. Peso de agua	(1) - (2) grs 30.62	30.93	32.29	28.26
4. Peso de recipiente	grs 11.23	10.25	13.95	10.18
5. Peso de suelo seco	(2) - (4) grs 119.13	154.80	158.92	138.13
6. Contenido de humedad	(3)/(5)*100 % 25.11	19.98	20.32	20.46

MUESTRAS

HORA	6:00:00 p.m.			
FECHA	10/05/07			
PROFUNDIDAD (m)				
FRASCO No	317	383	337	16
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs 88.01	158.03	97.25	104.77
2. Peso recipiente + suelo seco	grs 75.34	135.54	80.85	90.11
3. Peso de agua	(1) - (2) grs 12.67	22.49	16.40	14.66
4. Peso de recipiente	grs 11.17	11.05	11.12	15.15
5. Peso de suelo seco	(2) - (4) grs 64.17	124.19	69.73	74.96
6. Contenido de humedad	(3)/(5)*100 % 19.71	13.07	23.52	19.56

PROYECTO: APLICACIÓN DE GEOTEXILES TEJIDOS EN VIAS AFIRMADAS

SOLICITA : GRUPO N° 3 - CURSO DE TITULACION 2006 - FIC

UBICACIÓN: Laboratorio Nacional de Hidraulica - Universidad Nacional de Ingenieria

MATERIAL:	Sullrasante	Subrasante	Subrasante	Sullrasante	Subrasante	Subrasante					
r.LIESTP.\	M:1	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5					
PROFUNDIDAD											
CLASIFICACION	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM					

Datos de Humedad

Wmuestra	0.95										
P.espesif1col	2.54										
W anillo		1.30	2.45	2.35	1.43	0.90					

Datos de Densidad

yt		1.51	1.40	1.62	1.70	1.69					
		1.49	1.37	1.58	1.67	1.67					
ymax											

Datos de limites

L.L.	19.03										
L.P.	14.46										
IP	4.58										

CBR

01											
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Proctor

M.D.S. 8 ^a											
O.C.H. %	1000										

Corte directo

cohes16											
---------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

G	G	0.00	0.00								
	F		0.00								
A	G		2.40								
	III		21.40								
	r		11.10								

ENSAYO DE COMPACTACION Y VALOR RELATIVO DE SUELO B.B.

RELACION HUMEDAD. DENSIDAD

COMPACTACION C B R

Numero de Cajas: 5				Numero de Cajas: 5		
Método de Compactación: A. ASTM D-1557-78				ASTM D-1111-17		
122 Jd	922 J8	922 J8		106 B	201 W	1100 JU
25	25	25		1)	2)	55
B	B	B		1	2	
J500	J770	J7<8		7568	7152	7800
17-U	17H	1744		1412	J6)2	J542
1166	2026	200<		, 156	, 120	<258
3;g.	J(j)	J27	J H	J58	J16	
H 12	t2 j	bi D	110 er	((>)OJ	11' 2t	
9 5	89 Ju	18 5	10J 9'	9 8	1<t()	
J 0'	J 17	5 55	6 89	8 115	9 68	
1171	11 49	11 49	11 49	s 81		
1109)	11 61	7 25	9 62	9 61	81 75	
J 9	'08	7 8	7 50	1111	23 2	
J 9		7 J<		1 5		
1171		2 10		2 17)		
1171		2 04b		115<		
				107	186	1W2

CAP. DEL ANILLO		FAC. DEL ANILLO		
Nº Golpe	B	26		7 1
Nº 1. GOLPE	1	2		J
PENET	LECT DIAL	CAILGA 1	LECT DIAL	CAI<CA2
0025	0 4	1	0d	
0050	1	3	11	
0075	11	J	1,	4
0100	19	5	24	
0125	J	8		11
0200		11	5	1
0250		18	7 2	
0300	69	23	92	2,
0350	119	36	110	Jo
0400	212	55	195	15
0450	292	76	158	67

0, .	26	2 60	50	5 w	14	14, u
02"	2	147	92	6 11	14	14, u

P10,cc1u | Marambio b1ruaural con Geohiltes
 S0hc11;u | Grupo 3 - Civilo de T11u600n 2006. FIC
 UL>LUQ(H) | I alloralal'J Naonal de Hidraulca · UruverClad Naonal ae MWerte-6a
 MucUJ | Sul,(Janie
 HQ Hel>u | Irg Jolie Ab>ro M1VInel. Del Rosario
 Tlluuc-o | YFAJRM C
 IL'Y>11U |
 Fcl11J | u ce Mayo 2001

RESULTADOS

IAAX DENS SECA (gr/a)	2 079
OPT CONT DE HUM(%)	10 00
CBR a 100% de b MOS (%)	
CBR a 95% de b 1.105 (%)	
RETIE NE TAMIZ J- o 2' (%)	
RET TAMIZ J1< o N' ,. (1.1)	
PASA TAMIZ N' 200 (b)	19 1
CLAS SUCS o AASTHO	SC- SM
PESO ESPECIFICO (91/a)	254

ABSORCION

Peso Suelo Humcoo • Moue (g)			
Peso Mold (gr)			
Peso Suelo Hum Embebdo (gr)			
Peso Suelo Hum Su, Embebdo (g)			
Agu AbsOrodl (a)			
PcVO de suelo seco (Q)			
AO-Sorcion (%)			

OBSLRVACIONES

Gra.-as	000	Gruesi	000
		fna	000
Arenas	6090	Gruesa	2' 0
		Mecha	2' 40
		Fna	3' 00
F/105		J9 1	

FECIA	IIORA	LD	LO	LD
% DE EXP				



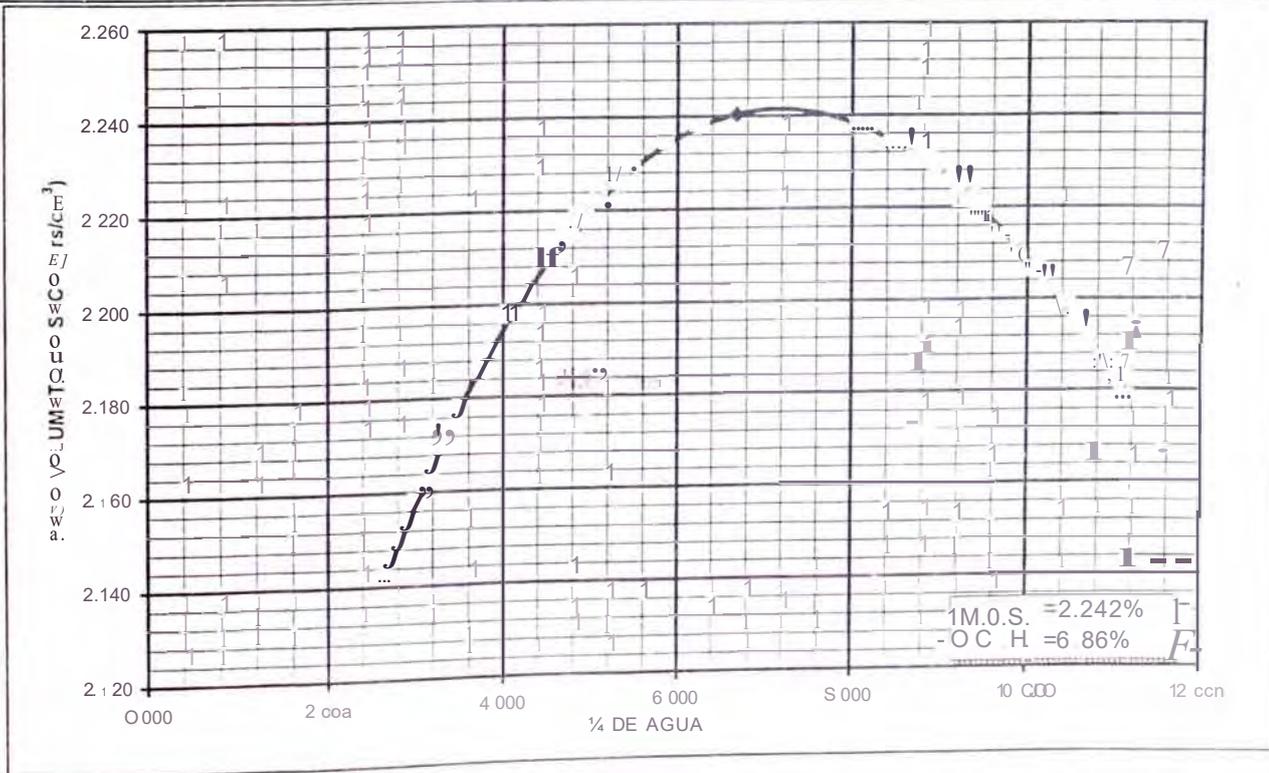
**LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA
AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA**



**ENSAYO DE COMPACTACION
ASTM D-1557**

CTO: 11-JC-RA, 111EMENTO ESTRUCTURAL DE VIAS AFIRMA0AS CON EL SISTc:IA G::OV/E:0
 ADO: GRUPO 3 Y 4 CALICATA: ----- FECHA: 15/05/0
 OR: M.H.N/M.A.UL.F.A.N MUESTRA: Afirmado PROF: -----

N°:	F							
J DE COMPACTACION	C							
VOLUMEN	2099.55 ce							
Mo + Molde	7984		8242		8384		8450	
Mo	3366		3366		3166		3366	
Mo húmedo compactado	4618		4876		5018		5084	
ométrico húmedo	2.200		2.322		2.390		2.421	
Mo N°	192	27	308	343	319	375	372	371
Mo húmedo + Tara	101.82	106.45	79.91	92.49	80.08	93.02	120.94	109.87
Mo seco + Tara	99.62	103.88	76.72	88.87	75.73	88.00	109.96	100.10
	11.65	11.70	11.46	12.35	12.33	10.75	11.17	12.07
agua	2.20	2.57	3.19	3.62	4.35	5.02	10.98	9.77
suelo seco	87.97	92.18	65.26	76.52	63.40	77.25	98.79	88.03
Mo de agua	2.50	2.79	4.89	4.73	6.86	6.50	11.11	11.10
Mo promedio	2.644		4.809		6.680		11.106	
ométrico seco	2.143		2.216		2.240		2.179	



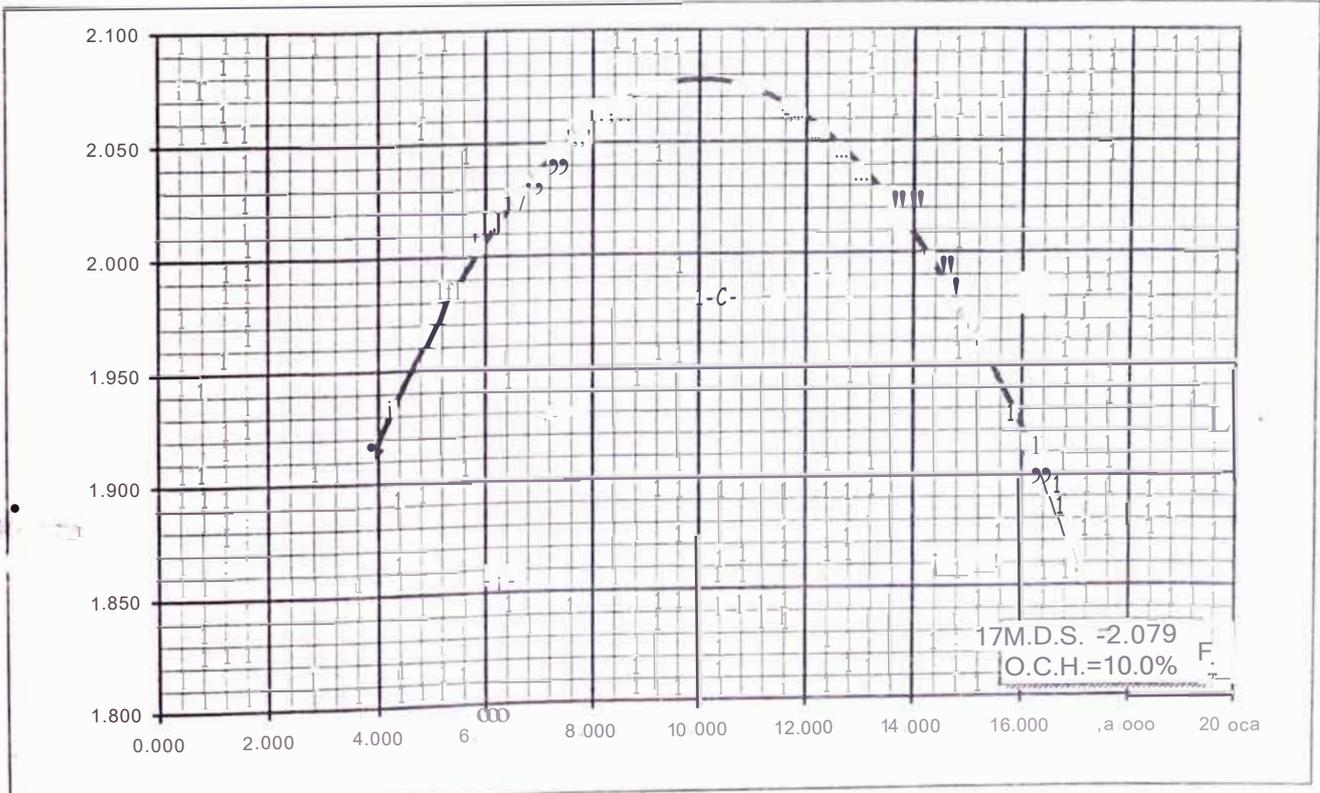
IIACIONES



EIA SA YO DE COIMPACT.-\CIOCif
ASTM D-1557

FECHA: 10-05-2007
 APLICACION: Aplicación de Geotextiles en Vías Afirmadas
 GRUPO: Grupo 3 - Curso de Tesis
 AUTOR: M.H.N.E.F.A.N MUESTRA: SUBRANSANTE

MOLDE N° :	B					
METODO DE COMPACTACION	A	VOLUMEN	922.38 cc			
peso suelo + Molde	3580	3770	3748			
peso Molde	1744	1744	1744			
peso suelo húmedo compactado	1836	2026	2004			
peso volumétrico húmedo	1.991	2.196	2.173			
coeficiente N°	324	369	327	344	358	318
peso suelo húmedo + Tara	94.22	92.53	94.30	110.86	100.03	114.28
peso suelo seco + Tara	91.15	89.36	88.75	103.97	91.18	94.60
tara	10.22	11.71	11.49	12.15	11.49	9.84
peso de agua	3.07	3.17	5.55	6.89	8.85	19.68
peso de suelo seco	80.93	77.65	77.26	91.82	79.69	84.76
contenido de agua	3.79	4.08	7.18	7.50	11.10	23.22
humedad promedio	3.938		7.344		17.160	
peso volumétrico seco	1.915		2.046		1.854	



OBSERVACIONES



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA

1 J
L 21

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

Proyecto: Mejoramiento Estructural con Geotextiles
Solicitado: Grupo 3 • Curso de Titulación 2006 • FIC
Ubicación: Laboratorio Nacional de Hidráulica • Universidad Nacional de Ingeniería
Fecha: 26 de Abril 2007

UBICACIÓN							
MUESTRA		M-1					
PROFUNDIDAD		Subrasante					
NRO DEL FRASCO		4					
1	Peso del frasco + peso suelo seco (gr)	237.1					
2	Peso del frasco volumétrico	109.5					
3	Peso del suelo seco (1 - 2) (gr)	127.6					
4	Peso del frasco + peso suelo + peso agua (gr)	436.7					
5	Peso del frasco + peso del agua enrasada (gr)	359.4					
6	Volumen del suelo (3 + 5 • 4) (cm ³)	50.3					
7	Gs (3)/(6) gr/cc	2.54					

Av. Tupac Amaru Puerta N° 4
Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería
Jelf. (011) 481-1070 anexo 302 Cel: 99912987_95242588
e-mail: lnhgeo@yahoo.com
lnh_uni@uni.edu.pe



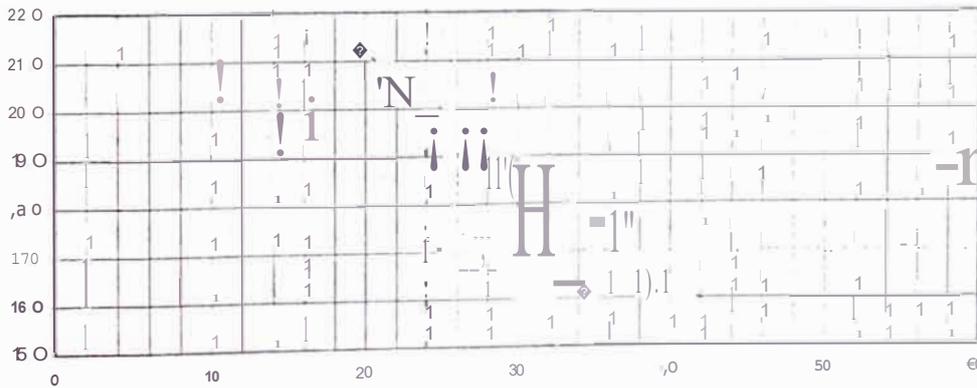
LIMITES DE ATTERBERG

SOLICITANTE	Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC	FECHA	26 Dic 2001
PROYECTO	Aplicación de Geotextiles en Vías Afimidadas	ENSAYO	
LOCALIZACION	Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería	OPERADOR	Y... L... A... H... O
SONDAJE		REVISADO	ING J... M... R... Ez
AL:ESTRA	Subrasante	PROF (m):	

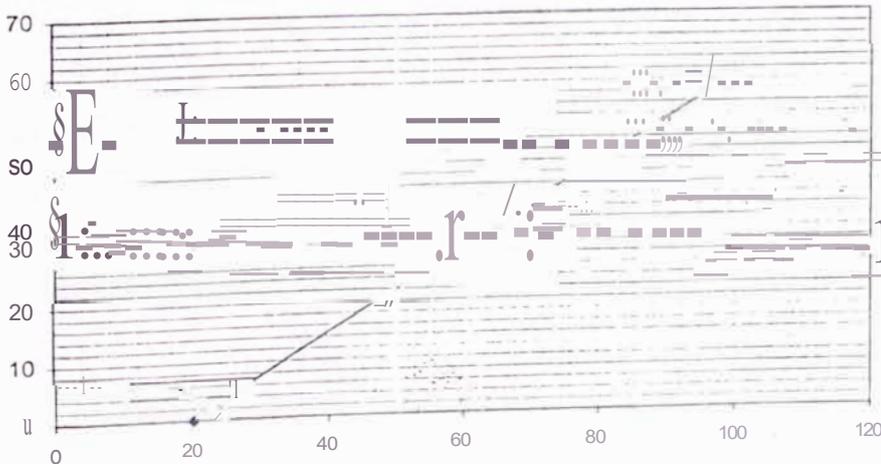
		LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318)		LIMITE LIQUICO (ASTM D...318)			
		1	2	1	2	3	4
	ENSAYO No						
	CAPSULAN.	304	121	150	308	161	19
	NUMERO DE GOLPES			20	24	30	41
1	PESO CAPSULA+ SUELO HUMEDO	14.30	17.40	18.30	19.10	21.30	25.30
2	PESO CAPSULA+ SUELO SECO	13.90	17.00	17.00	17.80	19.70	24.00
3	PESO CAPSULA	11.23	14.13	10.87	11.47	10.93	15.95
4	PESO AGUA (1-2)	0.40	0.40	1.30	1.30	1.60	1.30
5	PESO SUELO SECO (2-3)	2.67	2.87	6.13	6.33	8.77	8.05
6	CONTENIDO DE HUMEDAD (4/5*100)	14.98	13.94	21.21	20.54	18.24	16.15
	L.P. =	14.46		L.L. = 19.03			

1.P. = 4.58

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CARTA DE ELASTICIDAD



DESCRIPCION De: " " MATERIAL FINO:

CL-ML

010/13 3° 1

e

AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA

fr it
& err } -B
(t f - i ; ; (j

LABORATORIO GEOTECNICO

PROYECTO
SOLICITADO
UBICACIÓN
HECHO POR

Mejoramiento Estructural con Geotextiles
Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
Y.F.A./M.A.I./K.C.L.

FECHA: 26 de Abril del 2007

DENSIDAD DE CAMPO ANILLO

MII STRAS

CALICATA	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante				
IdIH:STRA U°	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5				
PROFUNDIDAD (m)									
FRASCO No	325	78	200	29	342				
1 Peso recipiente + suelo húmedo grs	343.80	303.60	322.10	354.50	364.30				
2. Peso recipiente + suelo seco grs	341.60	299.80	311.00	351.80	362.60				
3 Peso de agua (1)-(2) grs	2.20	3.80	4.20	2.70	1.70				
4 Peso de recipiente grs	172.90	144.70	138.90	162.50	173.40				
5 Peso de suelo seco (2)-(4) grs	168.70	155.10	179.00	189.30	189.20				
G Contenido de humedad (3)/(5) 100 %	1.30	2.45	2.35	1.43	0.90				
7 Volumen del espécimen cc	113.10	113.10	113.10	113.10	113.10				
8 Densidad seca (5)/(7)	1.49	1.37	1.58	1.67	1.67				
9 Peso suelo húmedo (1)-(4)	170.90	158.90	183.20	192.00	190.90				
10 Densidad húmeda (9)/(7)	1.51	1.40	1.62	1.70	1.69				

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_un1@un1.edu.pe

RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

PROYECTO:	APLICACIÓN DE GEOTEXTILES TEJIDOS EN VIAS AFIRMADAS							
SOLICITA :	GRUPO N° 3 - CURSO DE TITULACION 2006	UBICACIÓN: Laboratorio Nacional de Hidraulica - Universidad Nacional de Ingeniería						
	FIC							

MATERIAL
MUESTRA
PROFUNDIDAD
CLASIFICACION

Subrasante								
M-1		M-1	M-2	M-3	M-4	M-5		
	3 GOLPES	3 GOLPES "A"	3 GOLPES "B"	3 GOLPES "C"	3 GOLPES "O"	3 GOLPES "E"		
SC-SM								

Datos de Humedad

	Humedad Inicial	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado		
Wmuestreal	0.95	5.31	19.56	22.22	17.61	20.08	21.03	

Datos de Densidad

		Sin Saturar						
y		1.70	1.70	1.69	1.69	1.65		

MATERIAL
MUESTRA
PROFUNDIDAD
CLASIFICACION

	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante		
		M-1	M-2	M-3	M-4	M-5		
	12 GOLPES	12 GOLPES "A"	12 GOLPES "B"	12 GOLPES "C"	12 GOLPES "O"	12 GOLPES "E"		
	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM		

Datos de Humedad

	Humedad Inicial	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado		
Wm11estra[4.72	21.71	22.24	22.98	21.48	22.11		

Datos de Densidad

		Sin Saturar						
y		1.79	1.77	1.78	1.79	1.83		

RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

PROYECTO:	APLICACIÓN DE GEOTEXTILES TEJIDOS EN VIAS AFIRMADAS					
SOLICITA :	GRUPO N° 3 - CURSO DE TITULACION 2006	UBICACIÓN:	Laboratorio Nacional de Hidraulica - Universidad Nacional de Ingenieria			
	FIC					

MATERIAL	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante		
MUESTRA		M-1	M-2	M-3	M-4	M-5		
PROFUNDIDAD	17 GOLPES	17 GOLPES "A"	17 GOLPES "B"	17 GOLPES "C"	17 GOLPES "D"	17 GOLPES "E"		
CLASIFICACION	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM		

Datos de Humedad	Humedad Inicial	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado		
Wmues\ra\	1 8.14	1 17.92	1 19.33	1 19.33	1 22.19	1 26.12	1	1

Datos de Densidad		Sin Saturar						
y		1.94	2.70	2.66	2.41	2.39		

MATERIAL	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante		
MUESTRA		M-1	M-2	M-3	M-4	M-5		
PROFUNDIDAD	25 GOLPES	25 GOLPES "A"	25 GOLPES "B"	25 GOLPES "C"	25 GOLPES "D"	25 GOLPES "E"		
CLASIFICACION	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM		

Datos de Humedad	Humedad Inicial	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado		
Wmues\ra\	1 8.31	1 21.32	1 21.56	1 21.98	1 21.57	1 11.45	1	1

Datos de Densidad		Sin Saturar						
y		1.98	2.83	2.70	2.43	2.41		



LABORATORIO GEOTECNICO

PROYECTO: Mejoramiento Estructural con Geotextiles
 SEMESTRE: Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 HECHO POR: Y.F.A./M.A./L./K.C.L. FECHA: 26 de Abril del 2007

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM O - 2216

MUESTRAS

CALICATA	Natural	Inici,,	Inicio	Inicio	Inicio
MUESTRAN°	Subrasante	3 Golpes	12 Golpes	17 Golpes	25 Golpes
PROFUNDIDAD (m)					
FRASCO No	343	304	304	192	328
1. Peso recipiente + suelo húmedo	99.73	100.61	110.14	95.99	90.90
2. Peso recipiente + suelo seco	98.90	96.10	105.68	89.88	84.78
3. Peso de agua (1)-(2) grs	0.83	4.51	4.46	6.11	6.12
4. Peso de recipiente	11.75	11.23	11.23	13.16	12.40
5. Peso de suelo seco (2) -(4) grs	87.15	84.87	94.45	76.72	72.38
6. Contenido de humedad (3)/(5)* 100 %	0.95	5.31	4.72	7.96	8.46

MUESTRAS

SATURADO 3 GOLPES

CALICATA	A	B	e	D	E
MUESTRAN°					
PROFUNDIDAD (m)					
FRASCO No	374	307	332	327	169
1. Peso recipiente + suelo húmedo	170.19	120.97	138.01	141.51	164.75
2. Peso recipiente + suelo seco	144.33	101.19	119.15	119.77	138.90
3. Peso de agua (1) - (2) grs	25.86	19.78	18.86	21.74	25.85
4. Peso de recipiente	12.09	12.18	12.07	11.49	15.98
5. Peso de suelo seco (2) -(4) grs	132.24	89.01	107.08	1081.20	122.92
6. Contenido de humedad (3)/(5)* 100 %	19.56	22.22	17.61	20.08	21.03

MUESTRAS

SATURADO 12 GOLPES

CALICATA	A	B	e	D	E
MUESTRAN°					
PROFUNDIDAD (m)					
FRASCO No	356	35	338	354	15
1. Peso recipiente + suelo húmedo	98.05	110.78	132.49	132.92	144.40
2. Peso recipiente + suelo seco	82.34	92.94	109.62	111.61	120.42
3. Peso de agua (1)-(2) grs	15.71	17.84	22.87	21.31	23.98
4. Peso de recipiente	9.98	12.72	10.09	12.37	15.57
5. Peso de suelo seco (2) -(4) grs	72.36	80.22	99.53	99.24	104.85
5. Contenido de humedad (3)/(5)* 100 %	21.71	22.24	22.98	21.47	22.87

LABORATORIO GEOTECNICO

PROYECTO : Mejoramiento Estructural con Geotextiles
 SOLICITADO : Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACION : Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 DIRECCION : Y.F.A./M.A.L./K.C.L. FEC.: 26 de Abril del 2007

CONTENIDO DE 111 MED.

ASTM D - 2216

IMUESTRAS SATURADO 17 GOLPES

CALICATA		A	B	e	D	E
MUESTRAS						
PROFUNDIDAD (m)						
FRASCO No		359	169	31	354	375
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs	102.04	100.13	93.29	100.58	150.82
2. Peso recipiente + suelo seco	grs	88.20	86.50	80.34	84.56	122.08
3. Peso de agua	(1)-(2)grs	13.84	13.63	12.95	16.02	28.74
4. Peso de recipiente	grs	10.95	15.98	13.33	12.37	12.04
5. Peso de suelo seco	(2)-(4) grs	77.25	70.52	67.01	72.19	110.04
6. Contenido de humedad	(3)/(5)*100 %	17.92	19.33	19.33	22.19	26.12

IMUESTRAS SATURADO 25 GOLPES

CALICATA		A	B	e	D	E
MUESTRAS						
PROFUNDIDAD (m)						
FRASCO No		343	338	378	321	329
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs	100.47	127.41	120.08	103.37	111.40
2. Peso recipiente + suelo seco	grs	84.88	106.60	100.36	86.95	87.79
3. Peso de agua	(1) - (2) grs	15.59	20.81	19.72	16.42	23.61
4. Peso de recipiente	grs	11.75	10.09	10.63	10.83	10.34
5. Peso de suelo seco	(2)-(4)grs	73.13	96.51	89.73	76.12	77.45
6. Contenido de humedad	(3)/(5)*100 %	21.32	21.56	21.98	21.57	30.48

MUESTRAS

CALICATA						
MUESTRAS						
PROFUNDIDAD (m)						
FRASCO No						
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs					
2. Peso recipiente + suelo seco	grs					
3. Peso de agua	(1) - (2) grs					
4. Peso de recipiente	grs					
5. Peso de suelo seco	(2)-(4) grs					
6. Contenido de humedad	(3)/(5)*100 %					

LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA

m!

DENSIDADES MINIMA Y MAXIMA
A.S.T.M. D-4253 y A.S.T.M. D-4254

PROYECTO : Mejoramiento Estructural con Geotextiles
 SOLICITADO : Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN : Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 HECHO POR : Y.F.A/M.A.L./K.C.L. FECHA : 26 de Abril 2007

	A	B	c	D	E
MOLDE					
Wmolde	2922.00	1746.00	1850.00	1860.00	1856.00
Volumen	2184.05	2119.84	2119.84	2184.05	2161.32

3 GOLPES									
MUESTRA	A	B	c	D	E				
Ws+rn	6624.00	7018.00	6978.00	6622.00	6428.00				
densidad	1.70	2.49	2.42	2.18	2.12				
3 GOLPES									
gr/cm3	1.70	2.49	2.42	2.18	2.12				

Av. Tupac Amru Puerta N°4
 Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería
 Telf: (01) 481-1070 anexo 307 Cel: 99912987 95242522
 e-mail: jnhgeo@yahoo.com
 lob_uill@UDL.edu.pe

LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA

i
L
tIU

DENSIDADES MINIMA Y MAXIMA
A.S.T.M. D-4253 y A.S.T.M. D-4254

PROYECTO : Mejoramiento Estructural con Geotextiles
 SOLICITADO : Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN : Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 HECHO POR : Y.F.A./M.A.L./K.C.L. FECHA: 26 de Abril 2007

MOLDE	A	B	e	D	E
Wmolde	2922.00	1746.00	1850.00	1860.00	1856.00
Volumen	2184.05	2119.84	2119.84	2184.05	2161.32

12 GOLPES									
MUESTRA	A	B	e	D	E				
Ws+m	6830.00	7170.00	7164.00	6850.00	6806.00				

DETERMINACION	1.79	2.56	2.51	2.28	2.29				
----------------------	------	------	------	------	------	--	--	--	--

[12 GOLPES]	1.79	2.56	2.51	2.28	2.29				
[gr/cm3]									

Av. TupacAman1Puerta.Nº4
 Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería
 Telf. (011) 1 1070 anexo 302 Cel: 9991298.i.7...95242553
 e-mail: lnhgeo@yahoo.com
 lnj_1D1@u1.edt.pe



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA

t
1J1,

**DENSIDADES MINIMA Y MAXIMA
A.S.T.M. D-4253 y A.S.T.M. D-4254**

PROYECTO : Mejoramiento Estructural con Geotextiles
SOLICITADO : Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
UBICACION : Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
HECHO POR : Y.F.A./M.A.L./K.C.L. FECHA 26 de Abril

MOLDE	A	B	e	D	E
Wmolde	2922.00	1746.00	1850.00	1860.00	1856.00
Volumen	2184.05	2119.84	2119.84	2184.05	2161.32

17 GOLPES						
MUESTRA	A	B	e	D	E	
Ws+m	7162.00	7470.00	7498.00	7118.00	7012.00	
ENSIDAD						
	1.94	2.70	2.66	2.41	2.39	
i7 GOLPES						
gr/cm3	1.94	2.70	2.66	2.41	2.39	

Av. Jupac Amani Puerta N' 4
Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería
Jelf. (01) 481-1070 anexo 302. Cel: 99912987_95242588
e-mail: lohgeo@yahoo.com
lob_uni@um.edu.pe



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA

AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA

11.
v! 'kdr,

DENSIDADES MINIMA Y MAXIMA
A.S.T.M. D-4253 y A.S.T.M. D-4254

PROYECTO : Mejoramiento Estructural con Geotextiles
 SOLICITADO : Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN : Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 HECHO POR : Y.F.A./M.A.L./K.C.L. FECHA : 26 de Abril

MOLDE	A	B	e	D	E
Wmolde	2922.00	1746.00	1850.00	1860.00	1856.00
Volumen	2184.05	2119.84	2119.84	2184.05	2161.32

25 GOLPES									
MUESTRA	A	B	e	D	E				
Ws+m	7250.00	7754.00	7570.00	7162.00	7074.00				
DENSIDAD	1.98	2.83	2.70	2.43	2.41				
19 GOLPES									
Wn/cm3	1.98	2.83	2.70	2.43	2.41				

Av. Tupac Amaru Puerta N° 4
 Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería
 Telf: (01) 481-1070 Anexo 3 M: 99912987 95242588
 e-mail: lobgeo@yahoo.com
 lnh_uoi@un.edu.pe

PANEL FOTOGRAFICO



FOTO N° 01 Limpieza del terreno



FOTO N° 02 Trazo y Replanteo



FOTO N° 03 Excavación masiva en terreno natural



FOTO N° 04 Impermeabilización mediante plástico



FOTO N° 05 Relleno con material degradado



FOTO N° 06 Nivel de subrasante con material degradado



FOTO N° 07 Saturación de la subrasante degradada



FOTO N° 08 Ensayo DPL para determinar el CBR In-situ



FOTO N° 9 Colocación del geotextil sobre el suelo blando



FOTO N° 10 Conformación de la primera capa



FOTO N° 11 Apisonado manual de la primera capa



FOTO N° 12 Control de compactación de la primera capa



FOTO N° 13 Tamizado del material retenido malla W'



FOTO N° 14 Conformación de la segunda capa

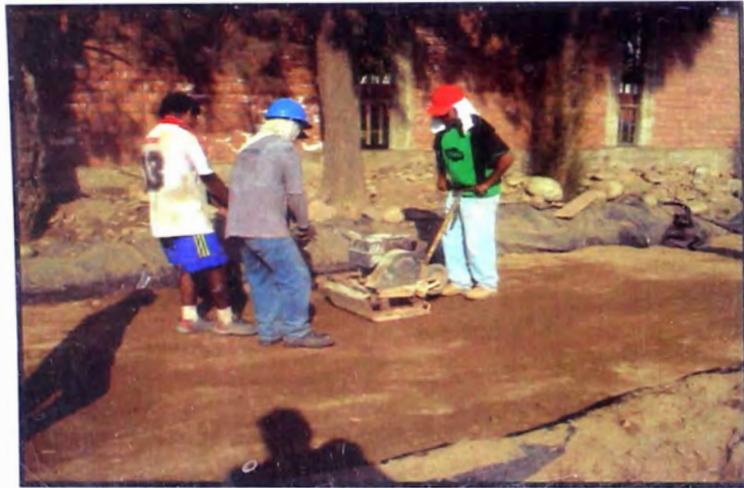


FOTO N° 15 Compactación mediante plancha vibratoria capa 2



FOTO N° 16 Control de compactación segunda capa



FOTO N° 17 Emplantillado de la última capa y control compactación capa 3



FOTO N° 18 Control de compactación de la ultima capa



FOTO N° 19 Compactación de la capa superficial



FOTO N° 20 Integrantes del grupo, y la via terminada



FOTO N° 21 Marcado en los brazos de la viga, para las lecturas



FOTO N° 22 Marcado en la vía donde se medirá las deflexiones

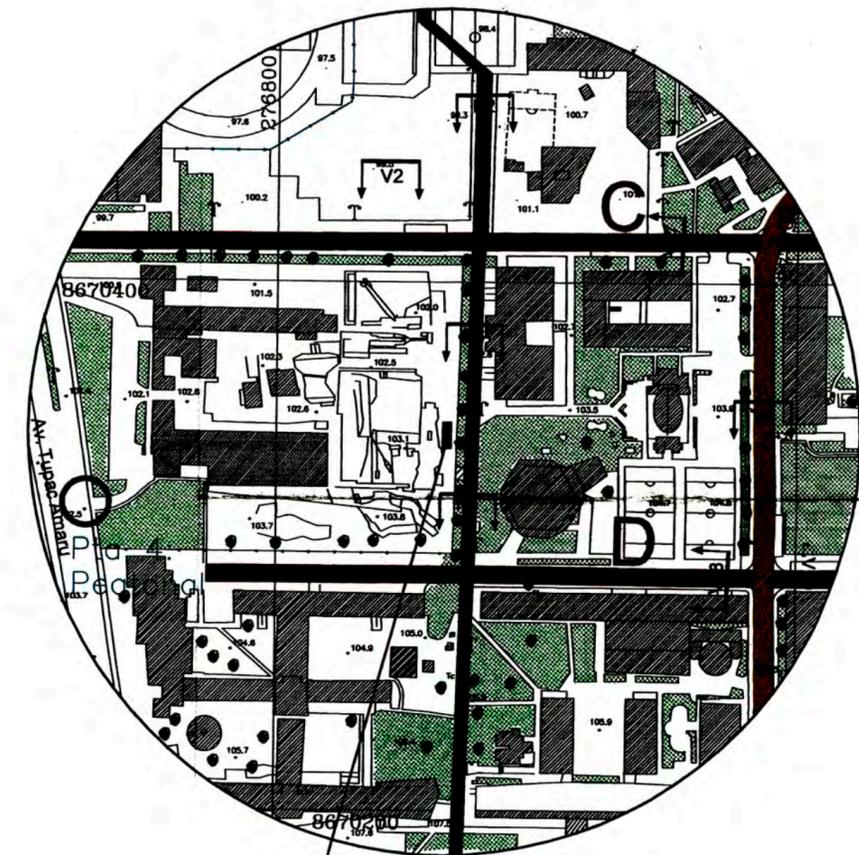


FOTO N° 23 Extensómetro de precisión para las medidas de deflexiones



FOTO N° 24 Lecturas con la viga Benkelman

PLANOS



LOCALIZACION

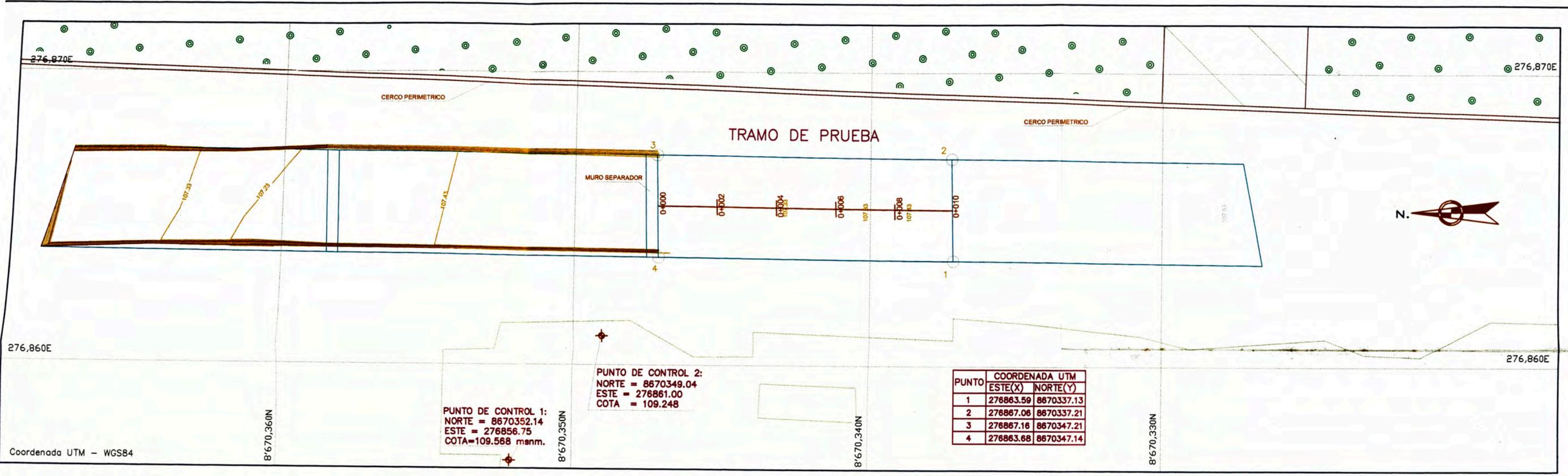
ESCALA 1/2,000

PUNTO	COORDENADA UTM	
	ESTE(X)	NORTE(Y)
1	276863.59	8670337.13
2	276867.06	8670337.21
3	276867.16	8670347.21
4	276863.68	8670347.14

UBICACION

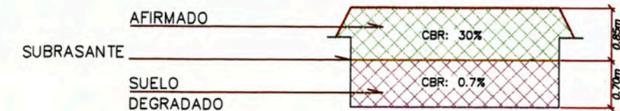
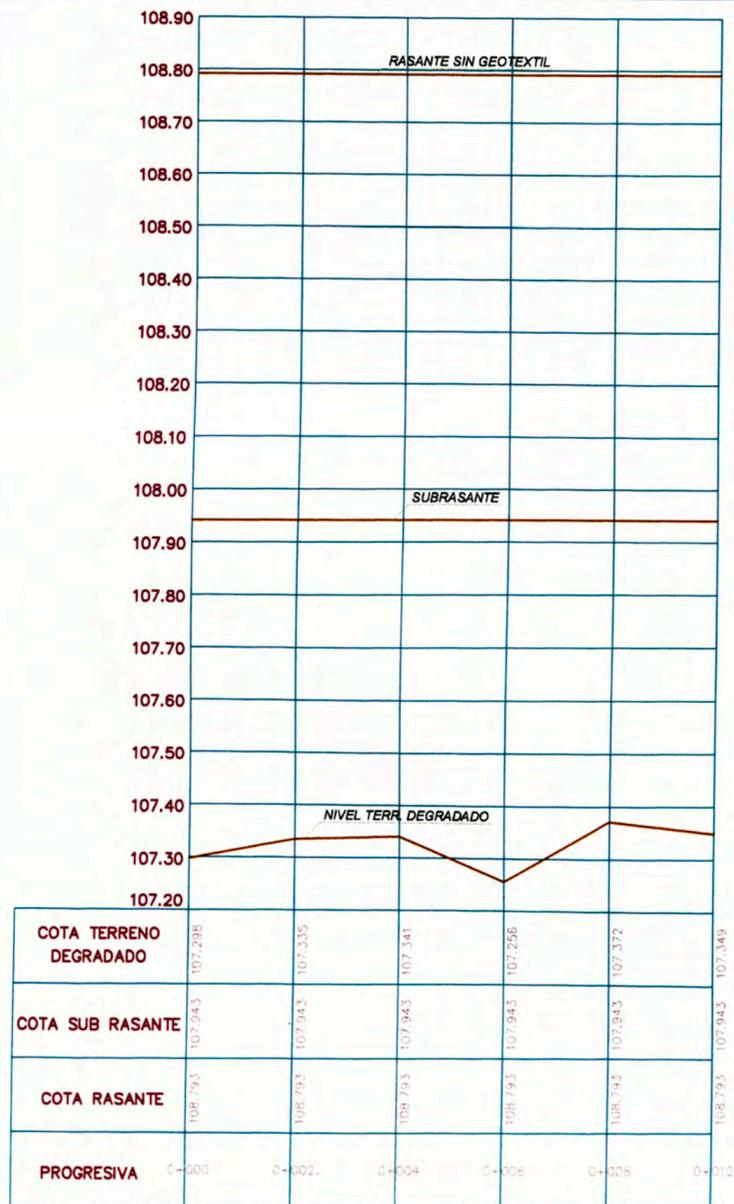
ESCALA 1/250

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL TITULACION PROFESIONAL POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS		
PROYECTO: APLICACION DE GEOTEXILES TEJIDOS EN VIAS AFIRMADAS		
INTEGRANTES: Luis Osorio Lucio		REVISADO:
PLANO: UBICACION — LOCALIZACION		PLANO N° UL-01
UBICACION: Lab. Nacional de Hidraulica Av. Tupac Amaru s/n DISTRITO : RIMAC PROV.: LIMA DPTO.: LIMA	DIBUJO: Jose Aponte FECHA: MARZO 2007	GRUPO DE TRABAJO: Grupo N°3 ESCALA: INDICADO



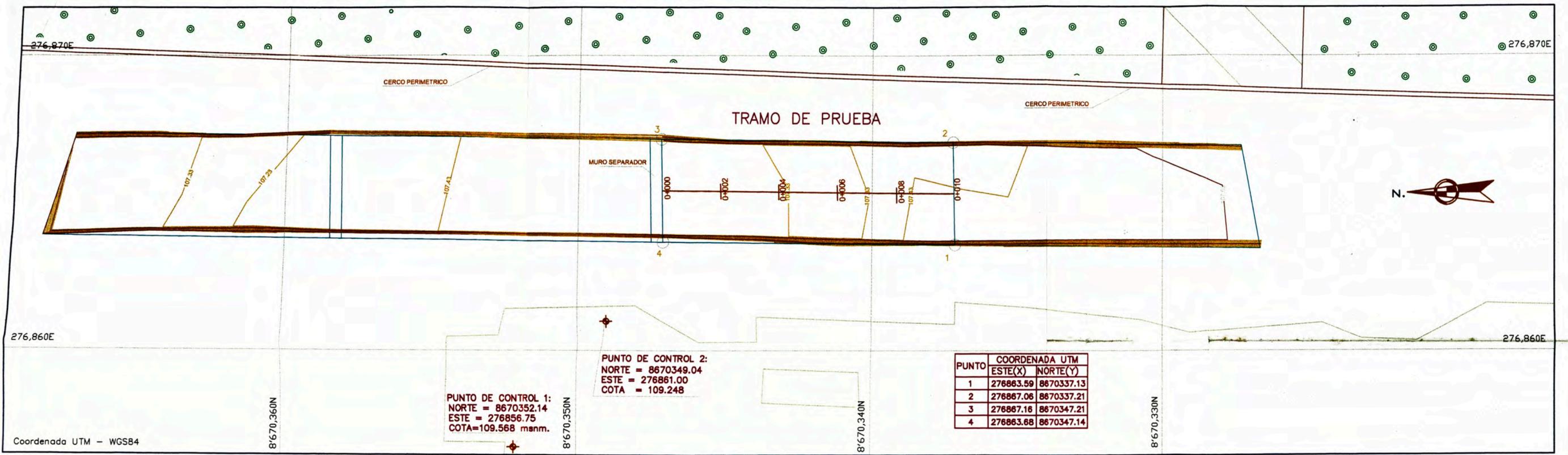
PLANTA
 ESCALA 1/100

PERFIL LONGITUDINAL
 ESC: H 1/100 - V 1/10



SECCION TIPICA
 S/E

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL TITULACION PROFESIONAL POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS			
PROYECTO: APLICACION DE GEOTEXILES TEJIDOS EN VIAS AFIRMADAS			
INTEGRANTES: Luis Osorio Lucio		REVISADO:	
PLANO: PLANTA - PERFIL LONGITUDINAL			PLANO N° PP-01
UBICACION: Lab. Nacional de Hidraulica Av. Tupac Amaru s/n DISTRITO: RIMAC PROV.: LIMA DPTO.: LIMA		DIBUJO: FECHA: MARZO 2007	GRUPO DE TRABAJO: Grupo N°3 ESCALA: INDICADO

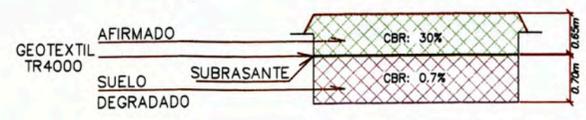
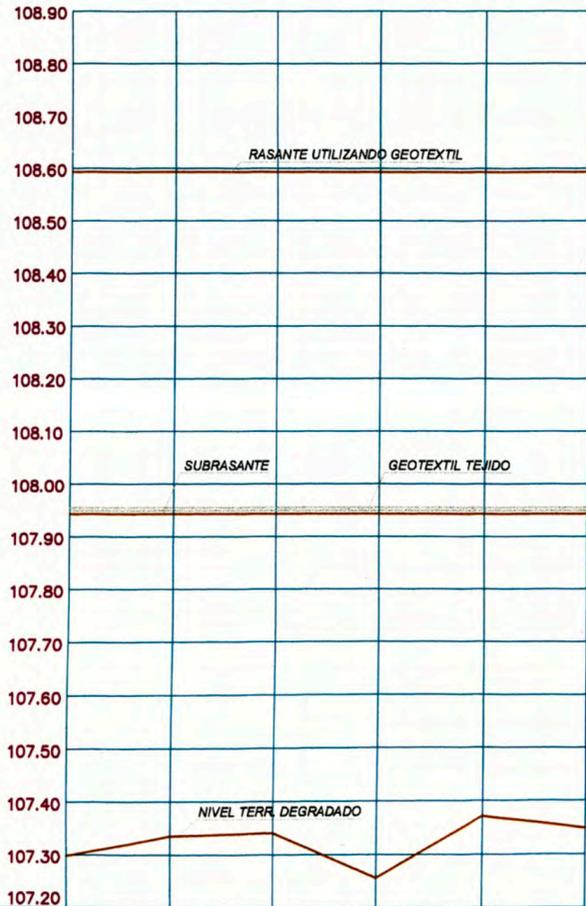


PUNTO DE CONTROL 2:
 NORTE = 8670349.04
 ESTE = 276861.00
 COTA = 109.248

PUNTO	COORDENADA UTM	
	ESTE(X)	NORTE(Y)
1	276863.59	8670337.13
2	276867.06	8670337.21
3	276867.16	8670347.21
4	276863.68	8670347.14

PUNTO DE CONTROL 1:
 NORTE = 8670352.14
 ESTE = 276856.75
 COTA = 109.568 manm.

PLANTA
 ESCALA 1/100



SECCION TIPICA
 S/E

PERFIL LONGITUDINAL
 ESC: H 1/100 - V 1/10

COTA TERRENO DEGRADADO	107.298	107.335	107.341	107.256	107.372	107.349
COTA SUB RASANTE	107.943	107.943	107.943	107.943	107.943	107.943
COTA RASANTE	108.593	108.593	108.593	108.593	108.593	108.593
PROGRESIVA	0+000	0+002	0+004	0+006	0+008	0+010

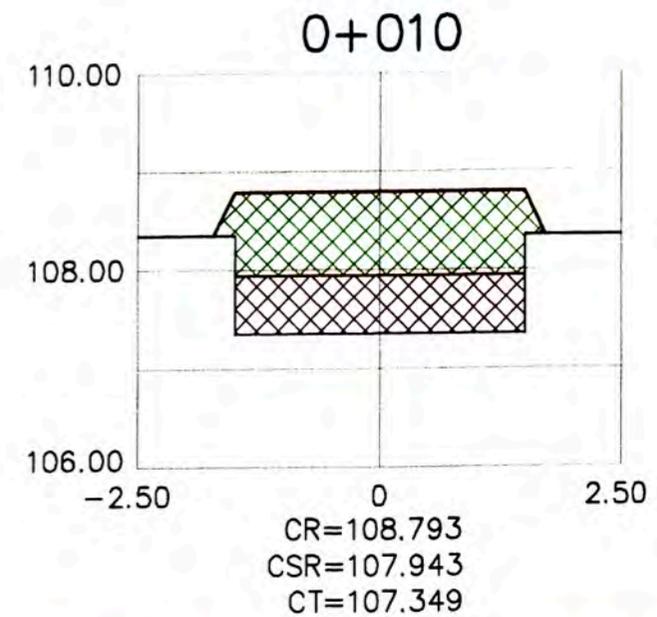
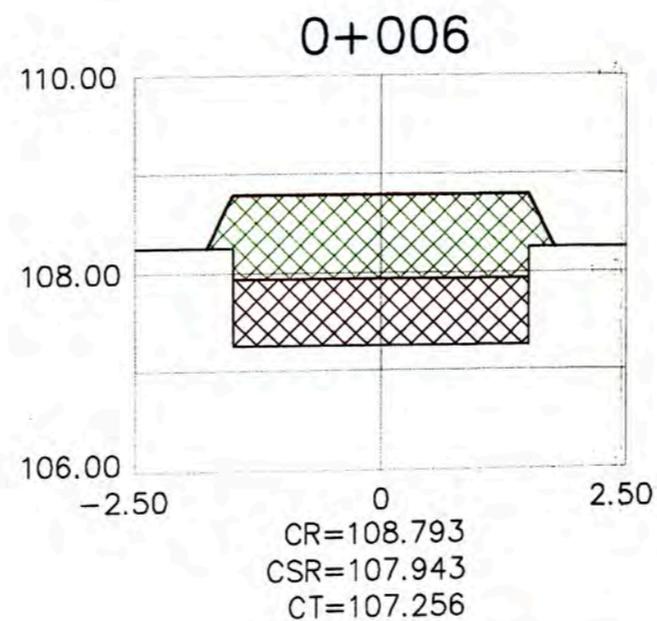
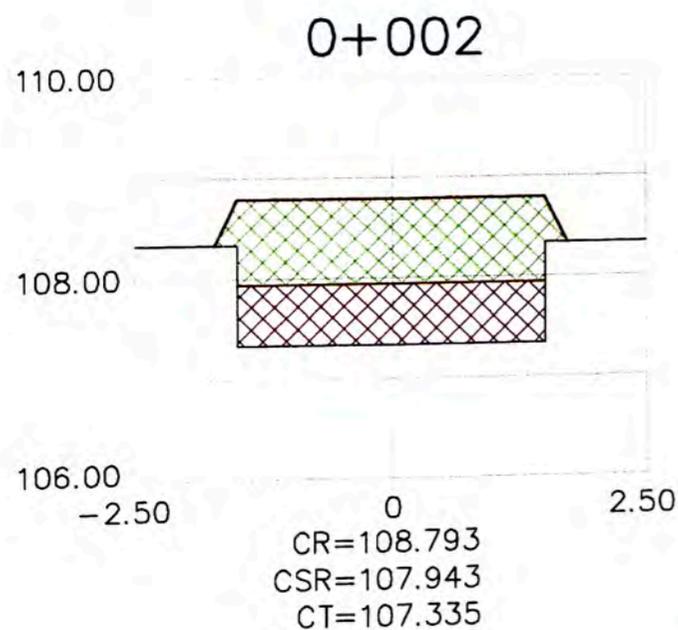
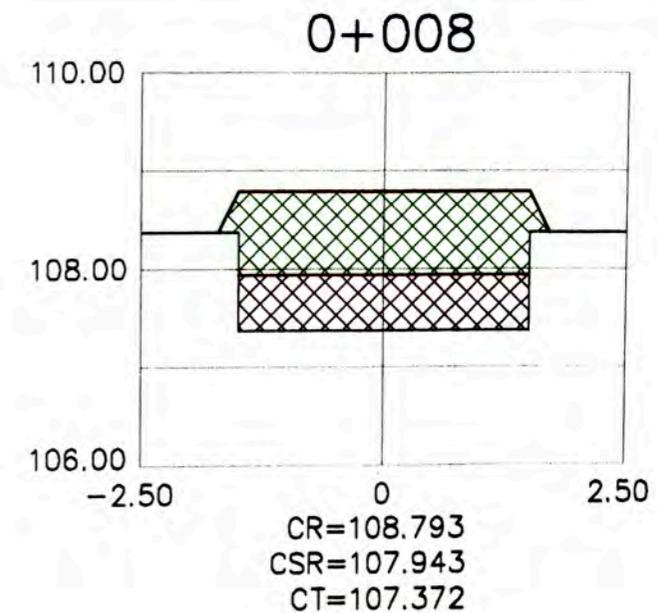
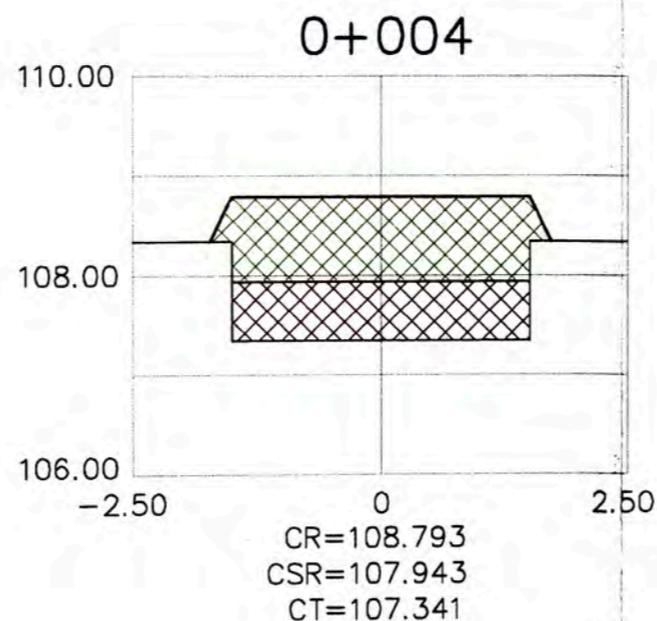
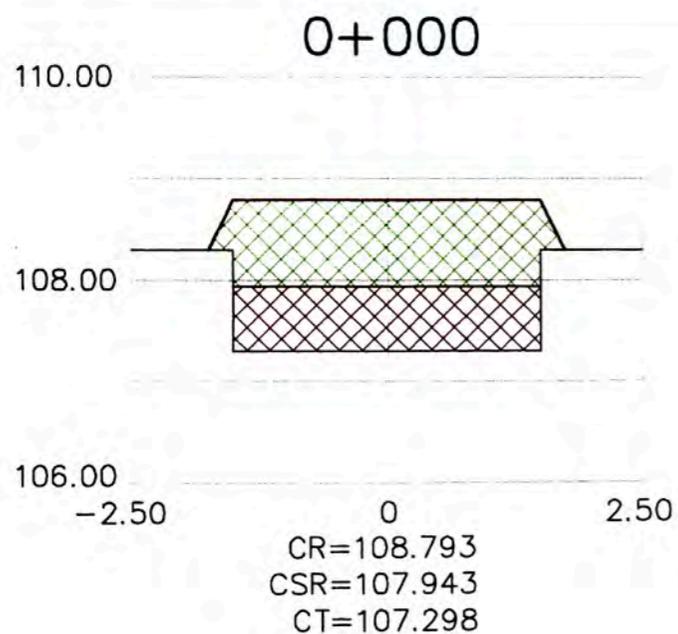
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 TITULACION PROFESIONAL POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS

PROYECTO:
 APLICACION DE GEOTEXILES TEJIDOS EN VIAS AFIRMADAS

INTEGRANTES: Luis Osorio Lucio **REVISADO:**

PLANO: PLANTA - PERFIL LONGITUDINAL **PLANO N°** PP-02
 Diseño empleando geotextil tejido como refuerzo y estabilizacion

UBICACION: Lab. Nacional de Hidraulica **DIBUJO:** **GRUPO DE TRABAJO:** Grupo N°3
 Av. Tupac Amaru s/n **FECHA:** MARZO 2007 **ESCALA:** INDICADO
 DISTRITO : RIMAC **PROV.:** LIMA DPTO.: LIMA

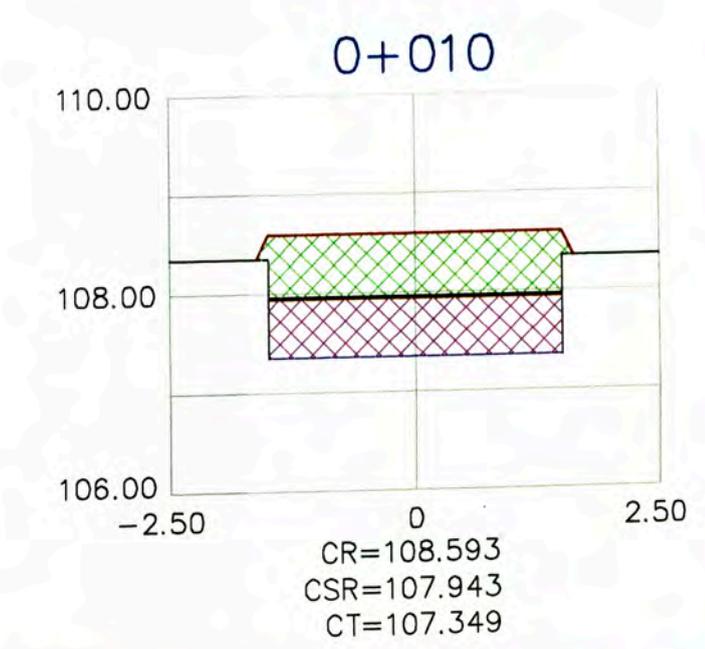
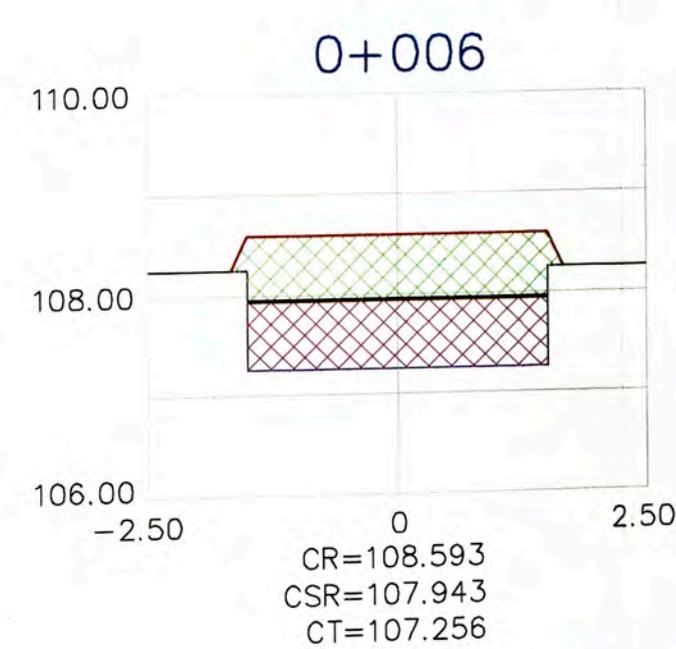
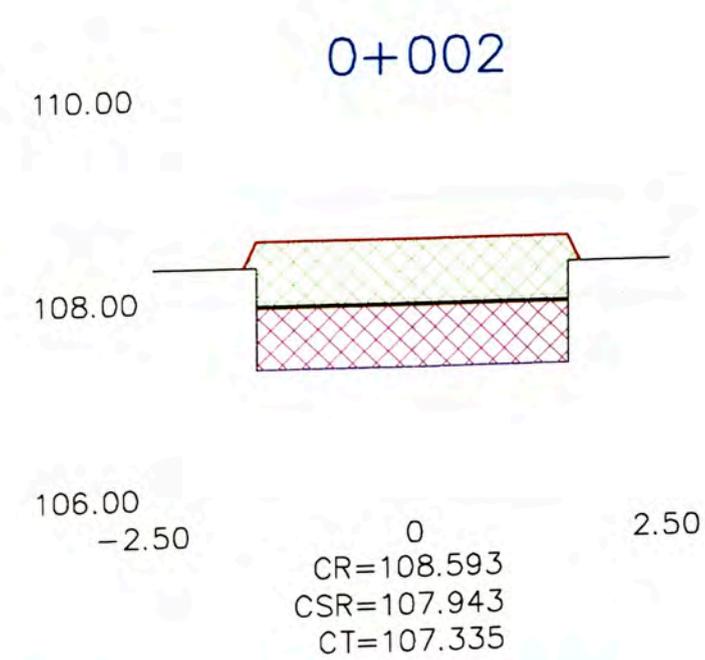
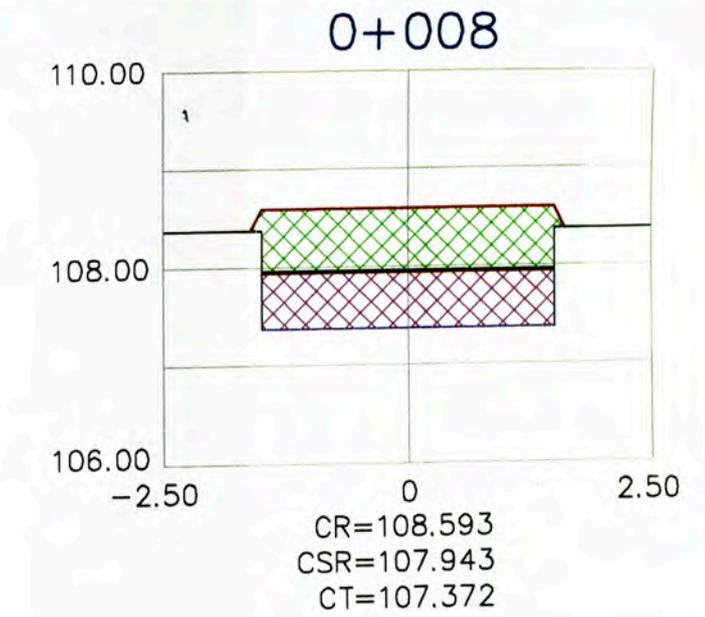
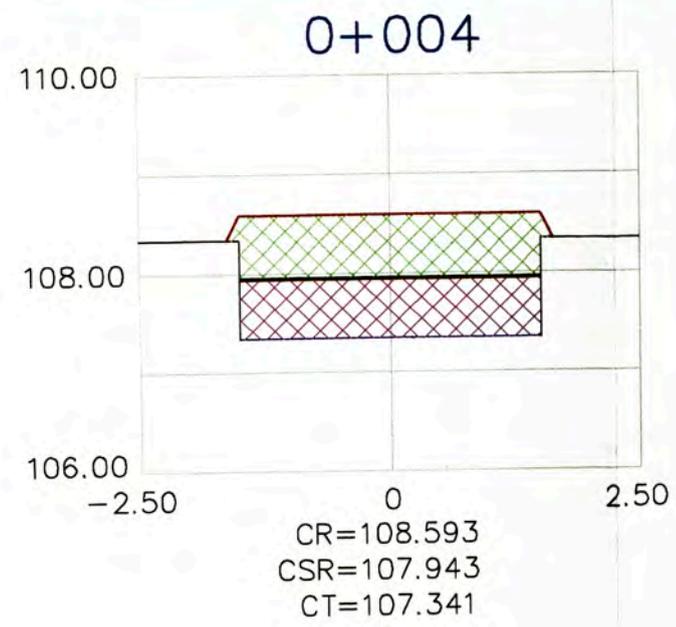
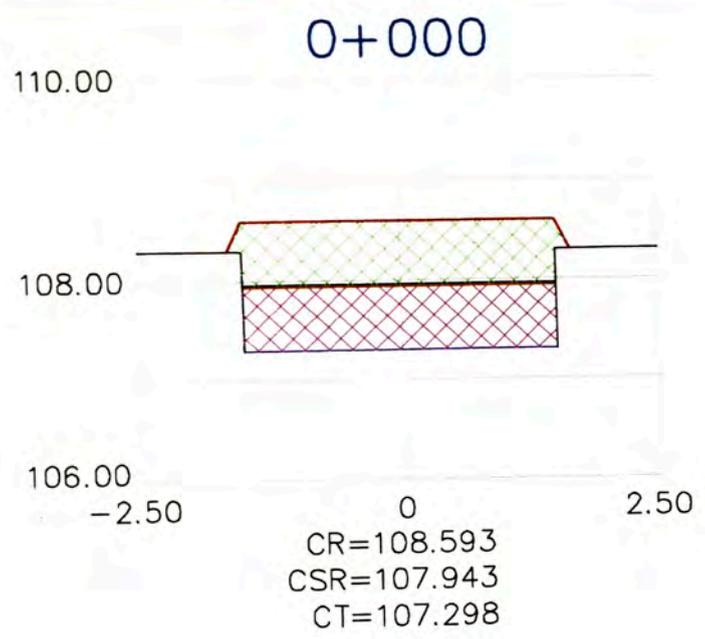


SECCIONES TRANSVERSALES

ESCALA: 1/75

LEYENDA	
Rasante:	
Sub rasante:	
Nivel terreno degradado:	
Base:	
Suelo degradado:	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL TITULACION PROFESIONAL POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS			
PROYECTO: APLICACION DE GEOTEXILES TEJIDOS EN VIAS AFIRMADAS			
INTEGRANTE: Luis Osorio Lucio		REVISADO:	
PLANO: SECCIONES TRANSVERSALES			PLANO N° ST-01
UBICACION: Lab. Nacional de Hidraulica Av. Tupac Amaru s/n DISTRITO : RIMAC PROV.: LIMA DPTO.: LIMA		DIBUJO: FECHA: MARZO 2007	GRUPO DE TRABAJO: Grupo N°3 ESCALA: 1/75



SECCIONES TRANSVERSALES

ESCALA: 1/75

LEYENDA

Rasante:	
Getotextil:	
Sub rasante:	
Nivel terreno degradado:	
Base:	
Suelo degradado:	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL TITULACION PROFESIONAL POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS		
PROYECTO: APLICACION DE GEOTEXILES TEJIDOS EN VIAS AFIRMADAS		
INTEGRANTES: Luis Osorio Lucio	REVISADO:	
PLANO: SECCIONES TRANSVERSALES Diseño empleando geotextil tejido como refuerzo y estabilizacion		PLANO N° ST-02
UBICACION: Lab. Nacional de Hidraulica Av. Tupac Amaru s/n DISTRITO : RIMAC PROV.: LIMA DPTO.: LIMA	DIBUJO: FECHA: MARZO 2007	GRUPO DE TRABAJO: Grupo N°3 ESCALA: 1/75