

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil



APLICACIÓN DE GEOTEXILES TEJIDOS
EN VIAS AFIRMADAS
ENSAYOS DE CONTROL Y MONITOREO

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO CIVIL

JUAN CARLOS HUARINGA RAYMUNDO

Lima - Perú

2007

INDICE

	Pág
RESUMEN	3
LISTA DE TABLAS	4
LISTA DE FIGURAS	5
INTRODUCCION	8
CAPITULO I: MARCO TEORICO DE GEOTEXTILES	9
1.1 Generalidades.....	9
1.2 Geotextiles.....	10
1.2.1 Definición.....	10
1.3 Clasificación y fabricación de los geotextiles.....	10
1.3.1 Clasificación.....	10
1.3.2 Fabricación.....	11
1.4 Funciones de los geotextiles.....	17
1.4.1 Función de separación.....	17
1.4.2 Función de refuerzo.....	19
1.4.3 Función de drenaje.....	21
1.4.4 Función de filtro.....	22
1.4.5 Función de protección.....	22
1.4.6 Función de impermeabilización.....	23
1.5 Propiedades de geotextiles.....	23
1.5.1 Propiedades físicas de los geotextiles.....	24
1.5.2 Propiedades mecánicas de los geotextiles.....	25
1.5.3 Propiedades hidráulicas de los geotextiles.....	32
1.6 Aplicaciones de los geotextiles.....	38
1.6.1 En vías.....	38
1.6.2 En repavimentación.....	38
1.6.3 En vías férreas.....	39
1.6.4 En subdrenes.....	40
1.6.5 En muros de contención.....	40
1.6.6 En terraplenes.....	40
1.6.7 En gaviones.....	41
1.6.8 En túneles.....	42
1.6.9 En presas, diques y canales.....	42

1.6.10	En embalses y rellenos sanitarios.....	42
1.6.11	En muelles y puentes.....	43
CAPITULO II RESUMEN EJECUTIVO DEL TRAMO EXPERIMENTAL.....		44
2.1	Objetivo.....	44
2.2	Ubicación.....	44
2.3	Topografía.....	45
2.4	Estudio de Suelos.....	47
CAPITULO III: ESTADO DEL ARTE DE LOS ENSAYOS DE CONTROL Y MONITOREO EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS.....		65
3.1	Clasificación de la evaluación de pavimentos	65
3.2	Evaluación de la capacidad estructural y funcional del pavimento durante el proceso de construcción.....	68
CAPITULO IV: ENSAYOS DE CONTROL Y MONITOREO DE CARRETERAS: RESULTADOS OBTENIDOS.....		74
4.1	Fundamento teórico del ensayo con la Viga Benkelman.....	74
4.2	Procedimiento en el campo.....	86
4.3	Resultados obtenidos.....	90
CONCLUSIONES.....		94
RECOMENDACIONES.....		96
BIBLIOGRAFIA.....		97
ANEXOS.....		98

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia titulado APLICACIÓN DE GEOTEXTILES TEJIDOS EN VIAS AFIRMADAS – ENSAYOS DE CONTROL Y MONITOREO, se presenta como un aporte a la ingeniería de transportes en cuanto a la aplicación de los geosintéticos, específicamente los geotextiles tejidos, en la construcción de vías afirmadas. Teniendo en cuenta que en nuestro país recién se está haciendo frecuente el empleo del geotextil en la construcción de carreteras, por lo que el conocimiento del comportamiento de dicho geosintético está aún en evolución, lo cual se ve reflejada en la normatividad nacional existente.

El presente informe presenta inicialmente la descripción de una metodología para reducir el CBR de un suelo desde 25% hasta llegar a un CBR=0.7%; para lo cual se realizaron en el laboratorio diversos ensayos entre los cuales destaca el ensayo con el equipo DPL, teniendo el suelo 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 número de golpes (N) del (DPL). Posteriormente se efectuó el ensayo DPL in situ, y con el valor encontrado se llevó a la curva de correlación y se obtuvo el valor del CBR real de dicho suelo a nivel de subrasante.

Luego se procedió a la construcción del pavimento reforzándolo con un geotextil tejido obteniendo así un espesor total del pavimento de 0.65cm.

Finalmente se realizó el ensayo de control con el empleo de la Viga Benkelman encontrándose valores de la deflexión característica dentro de los valores máximos y mínimos requeridos por el diseño, verificando además el ahuellamiento producido por el paso del vehículo de prueba considerado.

LISTA DE TABLAS

TABLA 1.1	Abertura de tamices.
TABLA 3.1	Especificaciones Españolas – IRI.
TABLA 3.2	Especificaciones Españolas para algunas concesiones.
TABLA 3.3	Especificaciones Españolas para el control de IRI por capas.
TABLA 3.4	Especificaciones de Portugal para el IRI inicial.
TABLA 3.5	Especificaciones de Canadá para el IRI inicial.
TABLA 3.6	Municipalidad de Dubai – Especificaciones de IRI.
TABLA 4.1	Evaluación del estado de la vía.
TABLA 4.2	Análisis elástico con el Modelo de Hogg – Viga Benkelman.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.1** Tipos de fibras usados en la construcción de geotextiles.
- FIGURA 1.2** Se muestran diversos tipos de geotextiles tejidos y no tejidos.
- FIGURA 1.3** Esquema comparativo.
- FIGURA 1.4.a** Sección transversal de una estructura de pavimento sin geotextil de separación.
- FIGURA 1.4.b** Sección transversal de una estructura de pavimento con geotextil de separación.
- FIGURA 1.5** Esquema de posible deslizamiento de un suelo.
- FIGURA 1.6** Esquema de posición de un geotextil para evitar deslizamientos.
- FIGURA 1.7** Colocación del geotextil en una zanja.
- FIGURA 1.8** Esquema con y sin geotextil.
- FIGURA 1.9** Esquema comparativo.
- FIGURA 1.10** Resistencia a la Tensión Grab.
- FIGURA 1.11** Ensayo de Resistencia a la Tensión por el método Grab.
- FIGURA 1.12** Método de la Tira Ancha.
- FIGURA 1.13** Ensayo de Resistencia a la Tensión por el método de la Tira Ancha Wide – Width (ASTM D-4595).
- FIGURA 1.14** Ensayo de Resistencia al Estallido Mullen Burst (ASTM D-3786).
- FIGURA 1.15** Ensayo de Rasgado Trapezoidal.
- FIGURA 1.16** Ensayo de Resistencia al Rasgado (ASTM D-4533).
- FIGURA 1.17** Ensayo de Resistencia al Punzonamiento (ASTM D-4833).
- FIGURA 1.18** Tamiz de tamaño de abertura aparente.
- FIGURA 1.19** Equipo de permitividad.
- FIGURA 1.20** Equipo de utilizado para la medición de la transmisividad de los geotextiles.
- FIGURA 1.21** Extractada del libro *Designing with Geosynthetics* fourth edition, capitulo 2, figura 2.17. Año 1998.
- FIGURA 1.22** Esquema comparativo de vías sin/con geotextil.
- FIGURA 1.23** Repavimentación Av. Aviación – Lima – Perú.
- FIGURA 1.24** Vía férrea con geotextil.
- FIGURA 1.25** Muro de contención con geotextiles.

- FIGURA 1.26** Aplicación del geotextil en terraplenes.
- FIGURA 1.27** Aplicación del geotextil en defensa ribereña.
- FIGURA 1.28** Aplicación del geotextil en túneles.
- FIGURA 1.29** Aplicación del geotextil en embalses.
- FIGURA 1.30** Aplicación del geotextil en pilares de muelles y puentes.
- FIGURA 2.1** Ubicación de la zona donde se construirá el pavimento.
- FIGURA 2.2** Ubicación del BM de apoyo localizado en el Departamento de Topografía.
- FIGURA 2.3** BM topográfico (placa de bronce).
- FIGURA 2.4** Punto de control sobre plataforma adyacente a la zona de trabajo.
- FIGURA 2.5** Otra vista del punto de control.
- FIGURA 2.6** Limpieza de la zona de trabajo.
- FIGURA 2.7** Otra vista de los trabajos de limpieza previa a la excavación.
- FIGURA 2.8** Otra vista de la preparación de la zona.
- FIGURA 2.9** Vista parcial de la zona de trabajo.
- FIGURA 2.10** Inicio de la excavación con el cargador frontal.
- FIGURA 2.11** Vista parcial de la excavación se aprecia el suelo granular del fondo.
- FIGURA 2.12** Penetrómetro en la poza experimental.
- FIGURA 2.13** Otra vista del Penetrómetro en la poza experimental.
- FIGURA 2.14** Prueba de resistencia del suelo con Penetrómetro.
- FIGURA 2.15** Medida de la oquedad del Penetrómetro.
- FIGURA 2.16** Ensayo de penetración con equipo DPL.
- FIGURA 2.17** Ensayo penetración DPL en el laboratorio de suelos y geotecnia.
- FIGURA 2.18** Impermeabilización de la excavación.
- FIGURA 2.19** Relleno con material arcilloso limoso.
- FIGURA 2.20** Avance del relleno con el material fino.
- FIGURA 2.21** Relleno casi a nivel de subrasante terminada.
- FIGURA 2.22** Esquema suelo subrasante sobre el cual se ha diseñado el pavimento.
- FIGURA 2.23** Vista del suelo degradado con CBR igual a 0.7 %.
- FIGURA 2.24** Colocación del geotextil tejido TR4000, como refuerzo.
- FIGURA 2.25** Conformación de la primera capa de afirmado sobre el geotextil.

- FIGURA 2.26** Compactación mediante pisones manuales para la 1ra capa.
- FIGURA 2.27** Compactación mecánica de la capa 2.
- FIGURA 2.28** Vista de la prueba de densidad en la capa 2
- FIGURA 2.29** Vista de colocación plantilla para la capa 4, y control compactación capa 3.
- FIGURA 2.30** Compactación de la capa final.
- FIGURA 2.31** Vista de la vía afirmada reforzada con geotextil tejido TR 4000 terminada
- FIGURA 2.32** Otra vista de la vía terminada.
- FIGURA 4.1** Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman.
- FIGURA 4.2** Configuración geométrica del sistema de carga de Ensayos con la Viga Benkelman.
- FIGURA 4.3** Esquematización del proceso de medición con la Viga Benkelman
- FIGURA 4.4** Realizando el marcado de las estaciones de medición.
- FIGURA 4.5** Preparando los implementos para el ensayo
- FIGURA 4.6** Ejecución del ensayo.
- FIGURA 4.7** Control de la temperatura del pavimento.
- FIGURA 4.8** Estado del pavimento reforzado con geotextil una vez culminada la prueba
- FIGURA 4.9** Estado del pavimento reforzado con geoweb una vez culminada la prueba.

INTRODUCCION

Al haber culminado satisfactoriamente los estudios en la carrera de Ingeniería Civil, es muy importante para un futuro profesional poder volcar todos los conocimientos adquiridos en su etapa de formación y aprendizaje, participando activamente en el desarrollo de nuestro País, y para ello, se debe estar preparado y autorizado para ejecutar: Ante-proyectos, Proyectos, Construcciones, Supervisiones y Mantenimiento de las distintas obras ingenieriles, esto quiere decir estar registrado en el Colegio de Ingenieros del Perú, y la condición primordial para ello es obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil se ha desarrollado el presente Informe de Suficiencia con el apoyo de profesionales de basta experiencia y conocedores de la problemática nacional como son: Ing. Mercedes Rodríguez Prieto-Mateo y el Ing. Roger Hidalgo García.

En el presente trabajo se describen y analizan los principales ensayos de control y monitoreo que se realizan durante la construcción de vías afirmadas empleando el geosintético denominado geotextil como elemento de refuerzo.

En el primer capítulo se presenta un resumen teórico de los geotextiles, en el cual se muestran su definición, propiedades, funciones y aplicaciones de los geotextiles en las diversas áreas de la Ingeniería Civil.

En el segundo capítulo se presenta un resumen ejecutivo del trabajo experimental realizado en el campus del Laboratorio Nacional de Hidráulica de la Universidad Nacional de Ingeniería. Allí se muestra primeramente la metodología empleada para obtener un suelo de subrasante con $CBR < 1\%$ y la descripción del procedimiento constructivo de la vía experimental empleando el geotextil tejido como refuerzo y separación.

En el tercer capítulo se presenta el estado del arte de los ensayos de control y monitoreo en la construcción de carreteras. Se inicia este capítulo mencionando los ensayos que se emplean en nuestro país y luego se presenta los ensayos que se emplean en otros países.

En el cuarto capítulo se describe el ensayo para determinar la capacidad estructural de las vías empleando la viga Benkelman y seguidamente se presenta los resultados obtenidos en el tramo experimental.

CAPITULO I: MARCO TEORICO DE GEOTEXTILES

1.1 GENERALIDADES

La utilización de los geosintéticos en la Ingeniería Civil se ha visto incrementada de una forma sostenida en los últimos años. Por esta razón, estos materiales están tomando cada vez un protagonismo más importante en la construcción. Esta importancia no solo se debe al aumento que este rubro representa en el presupuesto total de las obras, sino también a la importancia de las responsabilidades técnicas para los cuales son diseñados.

Según ASTM D 4439: "GEOSINTETICO es un producto plano fabricado a partir de materiales poliméricos, para ser usado con suelo, roca, tierra, o cualquier otro material geotécnico, como parte integral de un proyecto, estructura o sistema realizado por el hombre".

Las funciones principales que suelen cumplir los geosintéticos pueden agruparse en mecánicas e hidráulicas:

- Mecánicas: Refuerzo y separación.
- Hidráulicas: Filtración/drenaje, impermeabilización.

La utilización de geosintéticos generalmente esta relacionada con las siguientes ventajas que se obtienen de su aplicación:

- Simplificar constructivamente una obra.
- Reducir sus plazos de ejecución verificable.
- Evitar diseños tradicionales más complejos.
- Disminuir costos.
- Emplear mano de obra no calificada.
- Emplear materiales homogéneos de calidad.
- Cumplir con exigencias legales.
- Restringir el uso de materiales naturales.

Los distintos tipos de geosintéticos se clasifican en:

- Geotextil.
- Geogrilla o geomalla.
- Geonet o geored.
- Geomembrana.
- Geodren.
- Geocelda.
- Geomanta.

- Geocompuesto.

1.2 GEOTEXTILES

1.2.1 DEFINICION

Según ASTM D 4439: "Un GEOTEXTIL se define como un geosintético permeable conformado solamente de textiles. Los geotextiles se utilizan con cimentaciones, suelo, roca, tierra, o cualquier otro material geotécnico relacionado a la ingeniería como parte integral de un proyecto, estructura o sistema hecho por el hombre".

1.3 CLASIFICACIÓN Y FABRICACIÓN DE LOS GEOTEXTILES

1.3.1 CLASIFICACIÓN

Los geotextiles se clasifican de dos maneras: por su método de fabricación y según su composición.

POR SU MÉTODO DE FABRICACIÓN

De acuerdo al método de fabricación, los geotextiles se clasifican en: geotextiles tejidos y geotextiles no tejidos.

A) GEOTEXTILES TEJIDOS

Son aquellos formados por hilos entrecruzados en una máquina de tejer. Pueden ser tejidos de calada o tricotados.

Los tejidos de calada son los formados por hilos de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal). Su resistencia a la tracción es de tipo biaxial (en los dos sentidos de su fabricación) y puede ser muy elevada (según las características de los hilos empleados). Su estructura es plana.

Los tricotados están fabricados con hilo entrecruzado en máquinas de tejido de punto. Su resistencia a la tracción puede ser multiaxial o biaxial según estén fabricados en máquinas tricotasas y circulares, o Ketten y Raschel. Su estructura es tridimensional.

B) GEOTEXTILES NO TEJIDOS

Son aquellos formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar, consolidándose esta estructura por distintos sistemas según cual sea el sistema empleado para unir los filamentos o fibras. Los Geotextiles no tejidos se clasifican a su vez en:

- Geotextiles no tejidos ligados mecánicamente o agujados.
- Geotextiles no tejidos ligados térmicamente o termosoldados.
- Geotextiles no tejidos ligados químicamente o resinados.

POR SU COMPOSICIÓN

Las fibras que más se emplean son las sintéticas, siendo por ello que siempre tendemos a asociar al geotextil con fibras o filamentos sintéticos. Sin embargo al presentar gran diversidad de aplicaciones, también se fabrican con fibras naturales y artificiales.

A) FIBRAS NATURALES

Pueden ser de origen animal (lana, seda, pelos...) vegetal (algodón, yute, coco, lino...) que se utilizan para la fabricación de Geotextiles biodegradables utilizados en la revegetación de taludes, por ejemplo, en márgenes de ríos etc.

B) FIBRAS ARTIFICIALES

Son las derivadas de la celulosa. Son el rayón, la viscosa y el acetato.

C) FIBRAS SINTÉTICAS

Cuando al Geotextil se le exige durabilidad, se fabrica con fibras o filamentos obtenidos de polímeros sintéticos.

Los Geotextiles fabricados con estos polímeros son de gran durabilidad y resistentes a los ataques de microorganismos y bacterias.

Los más empleados son el polipropileno, poliéster, polietileno, poliamida y poli acrílico.

1.3.2 FABRICACIÓN

Muchos tipos de filamentos y estilos de tejidos han sido desarrollados debido al uso y aplicaciones específicas (ver figura 1.2). Los fabricantes tienden a dirigir y mejorar sus productos para el voluminoso mercado especializado como el de la

ingeniería.

Tres puntos son importantes en cuanto a la fabricación de estos tejidos, los cuales son el tipo del polímero, tipo de fibra y estilo del tejido.

Los polímeros usados en la fabricación de las telas geotextiles son hechos de los siguientes materiales poliméricos, listados en orden decreciente según su uso:

Polipropileno (85%).

Poliéster (12%)

Polietileno (2%).

Poliamida (Nylon, (1%).

Tipo de fibra: Los polímeros apropiadamente formulados se hacen en fibras (o hebras, donde una hebra consiste de una ó más fibras), fundiéndolas y forzándolas a través de un carrete. Los filamentos de fibra resultantes son luego transformados por uno de tres métodos: seco, húmedo ó fundido. La mayor parte de fibras geotextiles se hacen por el proceso de fundido; ellas incluyen poliolefinas, poliéster y nylon. Aquí el endurecimiento es por enfriamiento 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. De esta forma se incrementa la resistencia de las fibras, su elongación en la falla disminuye y su módulo se incrementa. Así se pueden alcanzar una gran variedad de respuestas de esfuerzos vs. deformaciones. Esos monofilamentos también se pueden trenzar juntos para formar una hebra multifilamento. El diámetro de la fibra esta caracterizado por su denier. El denier se define como el peso en gramos de 9000 m de hebras. El término tex relacionado a los textiles, es el peso en gramos de 1000 m de hebras.

Las fibras enhebradas son diferentes y se producen por filamentos continuos de un denier específico en un dispositivo llamado remolque. Un remolque puede contener miles de filamento continuos. Estos haces luego se pliegan y se cortan en longitudes cortas de hebras de 25 a 100 mm. Las fibras cortas ó hebras se giran ó rotan luego en estopas largas para la fabricación de geotextiles.

El último tipo de fibra a mencionarse son las llamadas películas ó cintas hendidas, las cuales se hacen de una lámina continua de polímero que se corta en fibras mediante navaja o son lanzadas por chorros de aire. Las fibras resultantes similares a cintas se denominan como fibras monofilamento de película hendida. Estos monofilamentos también se pueden torcer juntos para

hacer multifilamentos de película hendida.

En resumen, las principales fibras usadas en la construcción de geotextiles son monofilamentos, multifilamento, hiladas enhebradas, monofilamento hendidos, multifilamentos hendidos y cinta plana (Ver Figura 1.1).

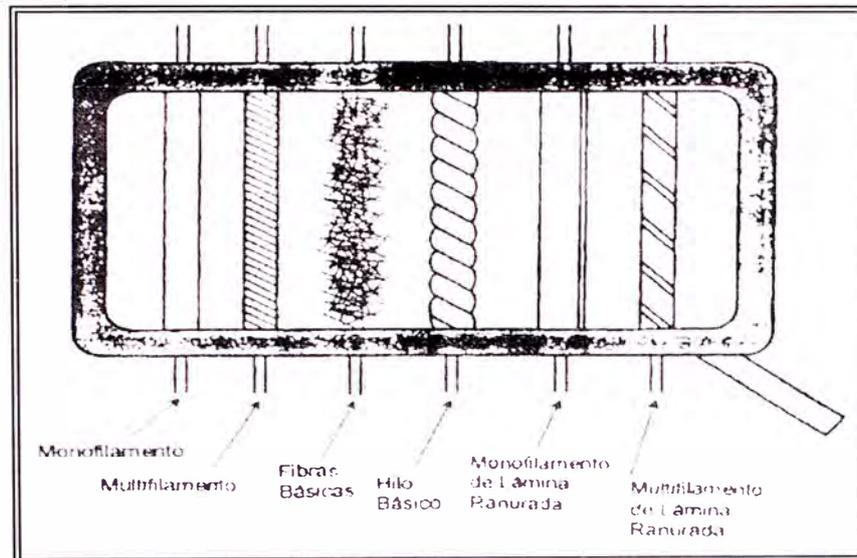


Fig 1.1 Tipos de fibras usados en la construcción de geotextiles

Estilo de tejido: Una vez se han fabricado las hiladas, ellas se convierten en telas. Las opciones básicas de fabricación son tejidas, no tejidas, o de punto (rara vez utilizadas como geotextiles).

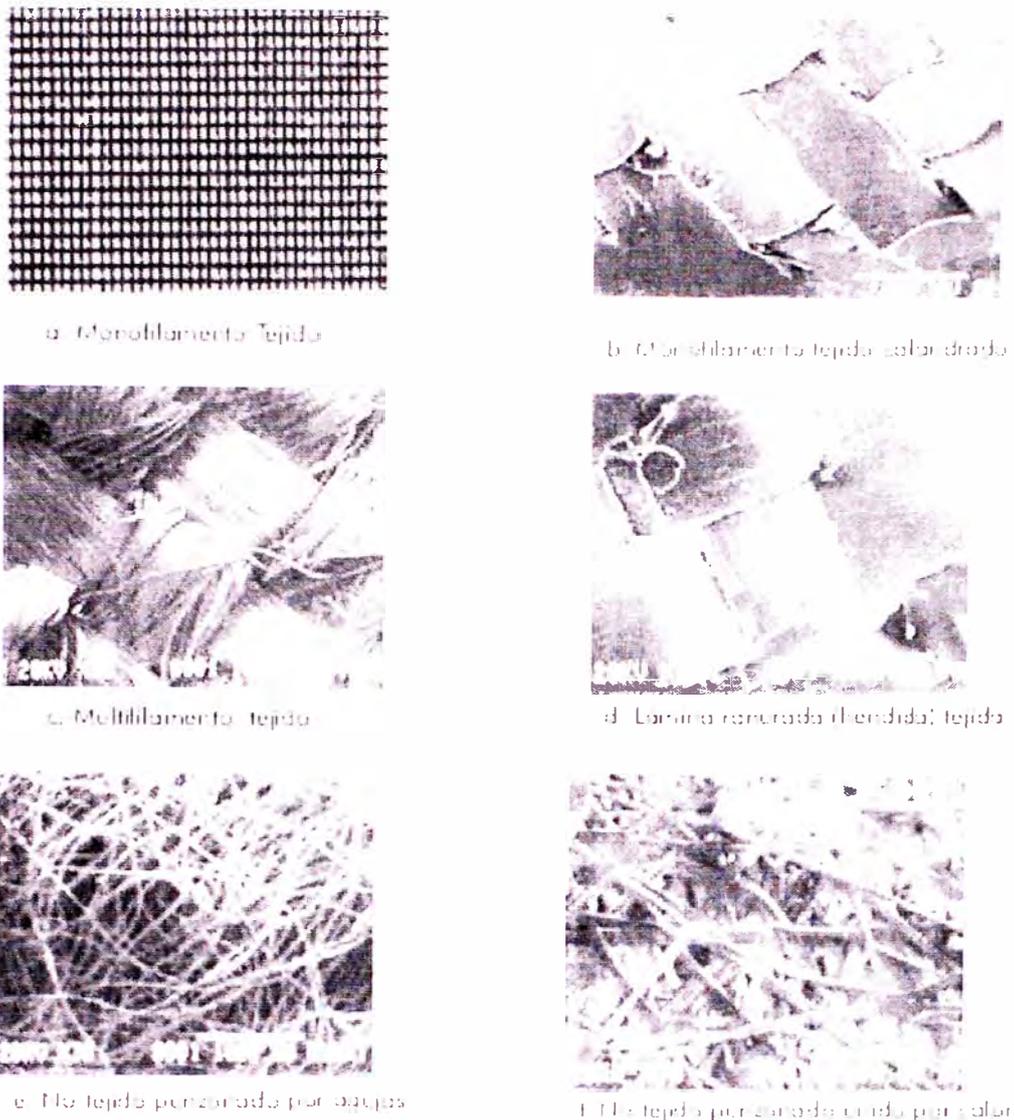


Fig. 1.2 Se muestran diversos tipos de geotextiles tejidos y no tejidos

Para las telas industriales convencionales (de las cuales los geotextiles son un subproducto), los tejidos se mantienen generalmente relativamente simples. El modelo particular del tejido se determina por la secuencia en la cual los estambres de la urdimbre son hilados en el telar y la posición del equipo de urdimbre para cada elección de relleno.

Los peines dejan caer los estambres de la urdimbre, permitiendo a una lanzadera insertar el estambre de la trama. Los peines se dejan caer luego la trama hacia abajo, encapsulando el estambre de la trama y permitiendo el regreso de la lanzadera en la dirección opuesta con otro estambre de la trama. Los peines luego se llevan hacia arriba de regreso, y el proceso continua en este

ciclo. Esta acción da origen a la nomenclatura de la dirección del urdimbre (la dirección en que se hace el textil, o dirección larga), trama o dirección de relleno (la dirección transversal ó dirección corta), y orillo (bordes de la tela donde el estambre de la trama regresa de dirección y reúne los estambres de la trama exterior en cada lado de la tela). Esta acción da origen a los diversos tipos de tejidos comunes para la formación de telas para uso como geotextiles.

Dentro de los geotextiles tejidos se pueden especificar diferentes modalidades:

Geotextil tejido plano:

Fabricado mediante el hilado por un procedimiento textil de una película polimérica extruida. Es el tejido más simple y común, conocido también como "uno arriba y uno abajo".

Geotextil tejido canasta:

Este tejido usa dos o más urdimbres y/o estambres de relleno como uno. Por ejemplo, un tejido canasta dos por dos toma dos urdimbres y dos estambres de trama actuando como unidades individuales

Geotextil tejido cruzado:

Una línea diagonal o cruzada se mueve a través de la tela moviendo intersecciones de hilos un pico más alto en sucesivos hilos de urdimbre. También pueden formarse otros modelos relacionados, por ejemplo, cruzados profundos y cruzados quebrados.

Geotextil tejido raso:

Si el estambre de la urdimbre (o trama) se lleva sobre muchos estambres de trama (o urdimbre), resultará una superficie de tela lisa. Esto se llama un tejido satinado y es usualmente liso y brillante. Generalmente no se usa para telas de geotextiles.

La fabricación de telas no tejidas es muy diferente de las telas tejidas. Cada sistema de fabricación no tejido generalmente incluye cuatro pasos básicos: preparación de la fibra, formación del tejido, unión del tejido, y tratamiento posterior.

Los geotextiles no tejidos pueden ser de fibra corta ó filamento continuo, los de fibra corta se obtienen a partir de fibras ó filamentos de longitud comprendida

entre 50 y 150 cm, y los de filamento continuo se obtienen por hilado directo de un polimero y posterior formación de la napa.

Existen básicamente tres clases de procesos de fabricación:

Geotextiles punzonados por agujas:

Se forman a partir de una superposición de fibras o filamentos ordenados aleatoriamente (napa) que se consolida al pasar por un campo de agujas en la máquina punzonadora. Dichas agujas se mueven en un solo sentido alternativo, subiendo y bajando muy rápidamente, penetrando en la napa y entrelazando las fibras, esto se consigue por que el perfil de las agujas no es regular, si no que están provistas de unas espigas o salientes en dirección a su sentido de penetración, lo cual hace penetrar a las fibras sin llevárselas en su movimiento de retroceso. La frecuencia de golpes o penetraciones de las agujas va consolidando el Geotextil No Tejido. Los Geotextiles fabricados por este proceso tienen buenas prestaciones mecánicas, manteniendo parte del espesor de la napa el cual les confiere mayor estructura tridimensional, gran elongación (pueden estirarse desde un 40% hasta un 120% o más, antes de entrar en carga de rotura) lo que les proporciona muy buena adaptabilidad a los terrenos, unas excelentes propiedades para protección, (suele denominarse efecto colchón) y muy buenas funciones de filtración y separación.

Geotextiles no tejidos termosoldados:

Se forman a partir de una napa en la que la unión de fibras y consolidación del Geotextil se logra por fusión de las fibras y soldadura en los puntos de intersección mediante un calandrado a temperatura elevada. Su espesor y su elongación son algo inferiores a la de los agujados, por lo cual su transmisividad y permeabilidad son menores, tienen buenas prestaciones mecánicas y poca adaptabilidad (son algo rígidos).

Geotextiles no tejidos ligados químicamente:

La unión entre sus filamentos se consigue incorporando ligantes químicos o resinas. Este sistema no se utiliza para la fabricación de Geotextiles de protección y separación, puesto que en su composición (de los de protección) deben de evitarse elementos químicos distintos a los polimeros, que pudiesen alterar sus propiedades y provocar incompatibilidades químicas con otros

materiales con los que pudiese estar en contacto. Su empleo esta muy poco extendido debido a su elevado costo.

1.4 FUNCIONES DE LOS GEOTEXILES

Las funciones que puede cumplir un geotextil, al ser aplicado en obra, son simultánea o aisladamente:

- Separación.
- Refuerzo.
- Drenaje.
- Filtro.
- Protección.
- Impermeabilización.

1.4.1 FUNCIÓN DE SEPARACIÓN

Esta función se puede definir como la interposición de un material textil y poroso entre materiales de distinta granulometría, permitiendo así que ambos materiales mantengan su integridad y características físicas propias, preservando la función para la cual fueron puestos en servicio.

Al mismo tiempo que se evita la mezcla de los materiales, se posibilita una reducción de las supresiones y facilita el flujo del agua en ambos sentidos; en la figura 1.3 se observa el diferente comportamiento que tienen las partículas de suelo cuando reciben la acción de una carga puntual.

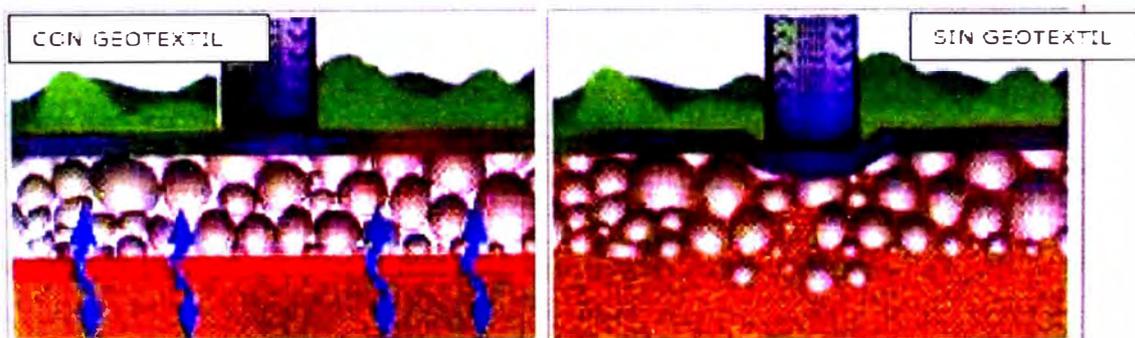


Fig. 1.3 Esquema comparativo

En el caso de las estructuras de vías, los geotextiles cumplen dos funciones esenciales: separación y refuerzo.

Para que un geotextil cumpla correctamente la función de separación entre un

suelo subrasante y una capa de material granular, el CBR de la subrasante debe estar entre 3% y 10%.

En efecto, dentro de este rango se asume que la deformación del suelo de subrasante no es lo suficientemente importante para generar grandes esfuerzos de tensión en el geotextil, el cual se diseña como separación y no como refuerzo. Cuando el CBR es menor, del 3% el geotextil asume grandes deformaciones y comienza a absorber esfuerzos a tensión que lo inducen a trabajar como refuerzo, factor que afecta totalmente el diseño por separación. En los casos en que el CBR de la subrasante sea menor del 3% se debe hacer un diseño por refuerzo y verificar los criterios del diseño por separación cuando el geotextil se coloca entre dos materiales de diferentes características.

Para tener un concepto claro del funcionamiento del geotextil como separación en la interfaz subrasante – capas granulares, a continuación se hace una descripción del proceso que se desarrolla entre dos materiales de diferentes características y comportamiento, y de cómo el geotextil se convierte en una barrera que permite mantener la integridad y el buen funcionamiento de los materiales, mejorando la resistencia y estabilidad de la estructura de la vía.

En el caso de las estructuras de Pavimento, donde se coloca suelo granular (relleno, subbase, base) sobre suelos finos (subrasante) se presentan dos procesos en forma simultánea:

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

El geotextil se traduce en una barrera para migración de partículas entre dos tipos de suelo, facilitando la transmisión de agua. Se requiere entonces un geotextil que retenga las partículas de suelo, 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 causados por irregularidades en el suelo de fundación.

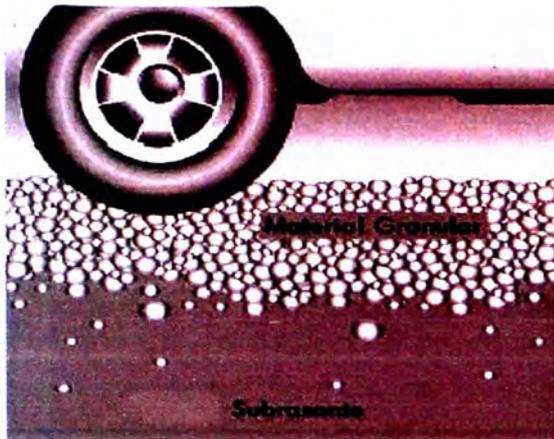


Fig. 1.4.a Sección transversal de una estructura de pavimento sin geotextil de separación. (interfaz SR - C. Granular)

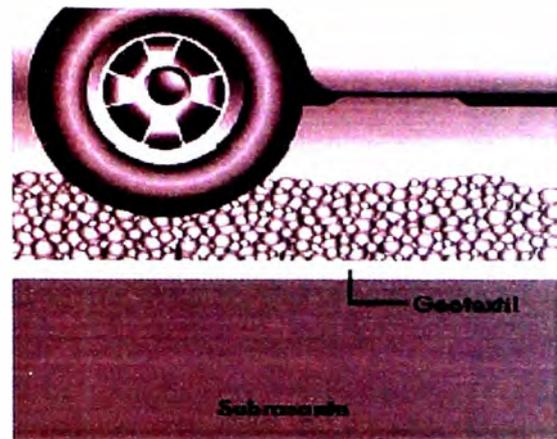


Fig. 1.4.b Sección transversal de una estructura de pavimento con geotextil de separación. (interfaz SR - C. Granular)

1.4.2 FUNCIÓN DE REFUERZO

El geotextil, gracias a su alta interacción con los suelos (buena resistencia a la compresión pero pobre resistencia a la tracción), proporciona una eficiente transmisión de esfuerzos que aumenta la resistencia mecánica del material contenido.

Se observa en la figura 1.5 como con la incorporación del geotextil al suelo, se disminuyen las posibilidades de tener deslizamientos.

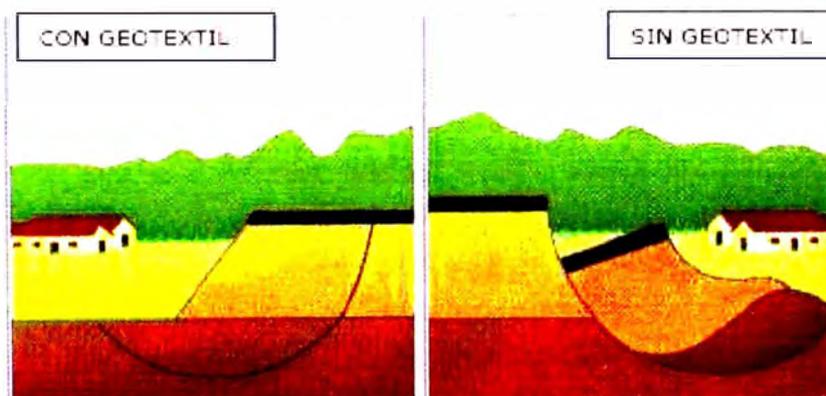


Fig. 1.5 Esquema de posible deslizamiento de un suelo

En la figura 1.6 puede observarse con claridad que la colocación del geotextil actúa como refuerzo impidiendo el deslizamiento del talud según el círculo de falla esquematizado.

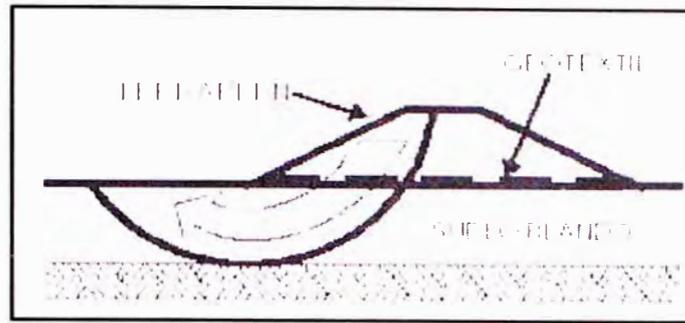


Fig. 1.6 Esquema de posición de un geotextil para evitar deslizamientos

La función de refuerzo de los geotextiles consiste en el complemento y por ende 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 el peso propio del suelo, como en el caso de taludes o terraplenes sobre suelos de fundación muy blandos, el refuerzo del suelo con geotextiles permite la construcción de taludes o terraplenes con mayor inclinación. 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 de pavimento.

Para que un geotextil cumpla correctamente con la función de refuerzo se debe cumplir con la condición de que el CBR de la subrasante deber ser menor al 1%. Por debajo de este valor se presentan deformaciones importantes que generan esfuerzos de tensión en el geotextil, fundamento para la elaboración de la metodología de diseño. Si el valor de CBR de la subrasante es mayor o igual a 3 se debe diseñar el geotextil por separación, por lo tanto se debe chequear la metodología realizada para esta aplicación.

El refuerzo con geotextiles soporta la fuerza de tensión del suelo, disminuyendo la fuerza de corte y aumentando la resistencia al corte del suelo, con el incremento del esfuerzo normal que actúa en las potenciales superficies de corte. En efecto, cuando el suelo se deforma a lo largo de una superficie de ruptura (en cortante), se generan deformaciones a compresión y tracción. El refuerzo comienza a actuar en forma eficiente cuando su inclinación iguala la dirección en la que se haya desarrollado la deformación a tracción en el suelo

deformado, entonces la deformación por corte del suelo causa una fuerza de tensión en el geotextil de refuerzo.

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 de geotextil, reduciendo así los esfuerzos aplicados en el suelo que se encuentra bajo el geotextil (parte convexa del geotextil). Este mecanismo tipo membrana se desarrolla cuando se aplican cargas localizadas y se presentan deformaciones considerables. En el caso particular 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.

1.4.3 FUNCIÓN DE DRENAJE

Consiste en la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del Geotextil.

La efectividad del drenaje de un suelo dependerá de la capacidad de drenaje del Geotextil empleado y del gradiente de presiones a lo largo del camino de evacuación del fluido.

Para realizar el drenaje satisfactoriamente el espesor debe ser suficiente al aumentar la tensión normal al plano de conducción. Adicionalmente el Geotextil debe impedir el lavado ó transporte de partículas finas, las cuales al depositarse en él, reducen su permeabilidad horizontal. Además debe garantizar el transporte de agua en su plano sin ocasionar grandes pérdidas de presión.



Fig. 1.7 Colocación del geotextil en una zanja

1.4.4 FUNCIÓN DE FILTRO

La textura altamente permeable del geotextil permite un rápido pasaje del agua a través de su plano, a la vez que retiene de manera eficaz las partículas (incluso las más finas) del suelo. Este desempeño como filtro se mantiene perdurable durante una vida útil extensa, compatible con la utilidad de la aplicación proyectada. En la fig. siguiente puede apreciarse como en el caso en donde no se tiene el geotextil el suelo fino se encuentra mezclado con el material, mientras que en la otra situación, con geotextil, las partículas no se mezclan.

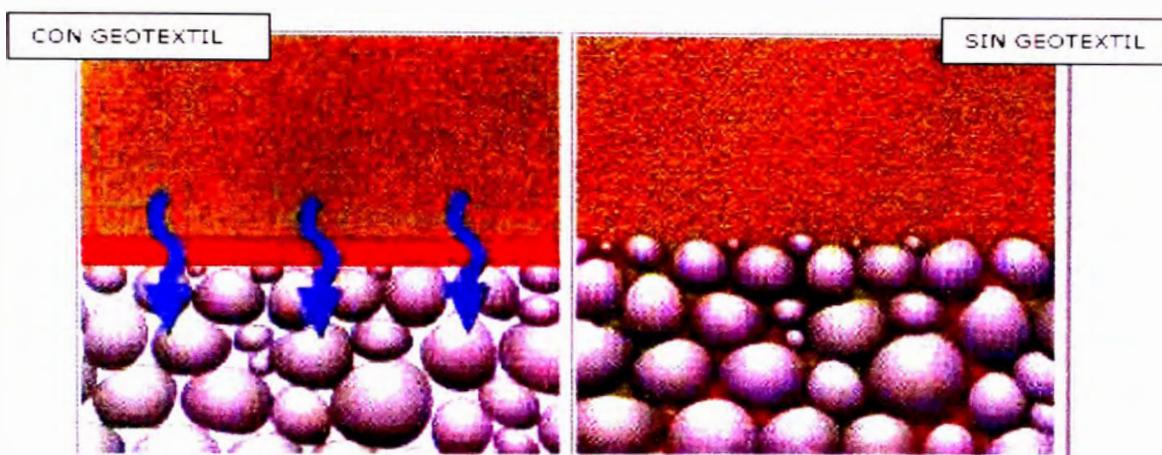


Fig. 1.8 Esquema con y sin geotextil

1.4.5 FUNCIÓN DE PROTECCIÓN

Previene o limita un posible deterioro en un sistema geotécnico. En los embalses impermeabilizados este sistema geotécnico se denomina pantalla impermeabilizante y está formado por el Geotextil y la Geomembrana. El Geotextil protege a la Geomembrana de posibles perforaciones o roturas, al formar una barrera antipunzonante bajo la acción de la presión de la columna de agua durante la explotación del embalse, del paso de personal y maquinaria durante la construcción, mantenimiento, posibles reparaciones, etc. También evita las perforaciones que podría ocasionar el crecimiento de plantas debajo de la pantalla impermeabilizante.

De igual forma, protege a la Geomembrana del rozamiento con el soporte que se produce durante las sucesivas dilataciones y contracciones que experimenta por efecto de las variaciones térmicas. La lámina impermeabilizante se adapta a las irregularidades del terreno. Las irregularidades pronunciadas implican una tensión en la lámina la cual a su vez causa una pérdida de espesor en la misma

dando origen a puntos débiles en los que se podrían producir posibles perforaciones o roturas causadas por objetos punzantes del terreno. La interposición del Geotextil evitará la pérdida de estanqueidad que se produciría por todas estas causas.

En la figura 1.9 el geotextil esta asociado a una geomembrana protegiéndola de perforaciones y desgastes:

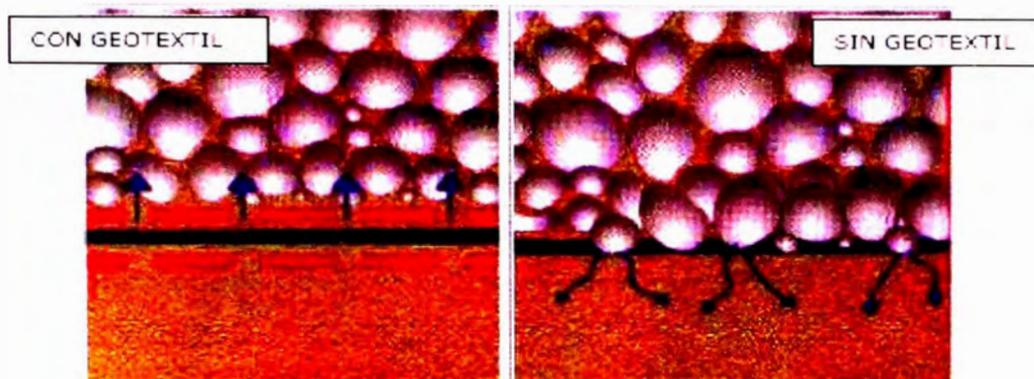


Fig. 1.9 Esquema comparativo

1.4.6 FUNCIÓN DE IMPERMEABILIZACIÓN

Esta función se consigue desarrollar mediante la impregnación del Geotextil con asfalto u otro material impermeabilizante sintético.

El Geotextil debe tener la resistencia y rigidez necesaria para la colocación del mismo, así como la capacidad de deformación suficiente para compensar las tensiones térmicas.

1.5 PROPIEDADES DE LOS GEOTEXILES

El campo de aplicación de los geotextiles en la ingeniería es extenso y variado; día a día aparecen nuevas formas de utilización y se perfeccionan los métodos de aplicación de las funciones que cumplen los geotextiles en las obras de infraestructura. El geotextil, siendo un material para la construcción al igual que el concreto, el acero o los materiales pétreos, debe presentar unas propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas específicas, con el objetivo de ser usadas en los procedimientos de diseño. Aunque un geotextil puede cumplir varias funciones como refuerzo, filtración, drenaje, separación, protección, entre otras, es esencial determinar cuál es la función principal requerida en una aplicación específica.

La función principal que debe cumplir el geotextil permite definir las propiedades que se deben tener en cuenta para escoger el tipo de geotextil adecuado. Para

el refuerzo se hace énfasis en las propiedades mecánicas, para la filtración y el drenaje se profundiza en las propiedades hidráulicas y para otras funciones como la separación se analizan todas las propiedades por igual. Dependiendo del tipo de aplicación, de las condiciones de instalación y de la durabilidad requerida, se deben considerar las propiedades de supervivencia del geotextil, adicional a las analizadas por función. En esta primera parte se presentará descripción detallada de las propiedades físico-mecánicas de los geotextiles y se estudiará la importancia de cada una de las propiedades dependiendo de la función que se quiere evaluar.

1.5.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS GEOTEXILES

Las propiedades índices describen las características generales que permiten hacer una clasificación de los geotextiles. Estos ensayos permiten verificar periódicamente la producción en una forma rápida y precisa, y obtener resultados que están correlacionados con los ensayos por función utilizados para los requerimientos de diseño.

Masa por unidad de área

La masa por unidad de área es el término adecuado para lo que se conoce como peso del geotextil o peso base. El procedimiento de ensayo para determinar la masa por unidad de área está dado por la norma ASTM D-5261, donde la masa debe medirse aproximadamente al 0.01 % del total de la masa del espécimen, y la longitud y el ancho deben medirse sin que el geotextil esté sometido a alguna tensión. Las unidades más comunes son g/m² u oz/yd² (1 oz/yd² ≈ 33.9 g/m²).

Espesor

El espesor es una propiedad descriptiva del material. El procedimiento de ensayo está dado por la norma ASTM D-5199 y consiste en determinar la distancia que hay entre la cara inferior y la cara superior del geotextil. Este dato se mide con un error menor a 0.02 mm (0.001 pulgada), bajo una presión de 2.0 kPa (0.29 psi). Es importante resaltar la importancia de esta propiedad en las aplicaciones de filtración, debido a que con un mayor espesor el geotextil tiene una mayor porosidad y por lo tanto una mayor resistencia a la colmatación. El espesor se mide en milímetros, pulgadas o mils (1mil=0.001 pulgada).

1.5.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS GEOTEXTILES

Según la aplicación, los geotextiles deben asumir esfuerzos y sufrir deformaciones. Una carga puede causar deformación o una deformación puede generar una tracción en el geotextil; la carga puede aplicarse en el plano del geotextil o perpendicular a su plano. La relación entre carga y deformación en un geotextil puede considerarse como un comportamiento mecánico.

Las propiedades mecánicas de un geotextil dependen de la fibra y de su estructura en el caso de un geotextil no tejido, y de la construcción de las cintas en el caso de un geotextil tejido. Existen dos direcciones en el geotextil: dirección de la máquina (urdimbre) y dirección transversal (trama), los geotextiles en general tienden a ser isotrópicos, sin embargo en algunos casos presentan grandes diferencias en las propiedades de una dirección a otra. Las propiedades que se describen a continuación miden la resistencia de los geotextiles a los esfuerzos de tensión.

Resistencia a la tensión

La resistencia a la tensión es una de las propiedades más importantes de los geotextiles y se debe tener en cuenta en la determinación de los criterios y los parámetros de diseño. En unos casos la resistencia a la tensión se considera una función primaria (refuerzo) y en otros una función secundaria (separación, drenaje y filtración). El ensayo consiste en analizar el comportamiento de una muestra de geotextil que se coloca entre dos mordazas y se lleva a un equipo mecánico donde se aplica una carga a tensión. Durante el ensayo se mide la carga a tensión aplicada y la elongación que sufre el geotextil hasta que ocurre la falla del material. Como resultado se obtiene una curva fuerza-elongación o esfuerzo-deformación, de la cual se puede obtener la siguiente información:

- Máxima fuerza a tensión: permite determinar la resistencia del geotextil.
- Elongación de rotura: interpretada también como máxima elongación.
- Módulo de elasticidad: pendiente de la porción inicial de la curva fuerza-elongación.

Existen varias metodologías de ensayo para determinar la resistencia a la tensión de un geotextil, los ensayos más utilizados son el método Grab según la norma ASTM D-4632 y el método de la tira ancha (wide – width) según la norma ASTM D-4595.

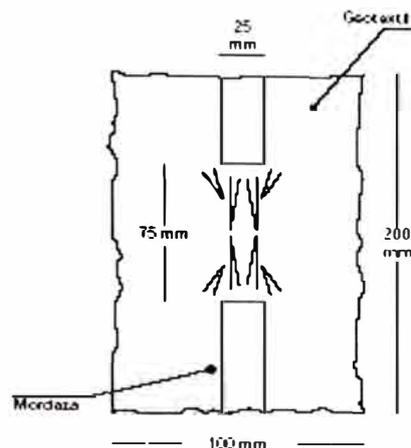


Fig. 1.10 Resistencia a la Tensión Grab

Método Grab

En el método Grab el espécimen de geotextil tiene 101.6 mm (4 pulgadas) de ancho y 152.4 mm (6 pulgadas) de largo y las mordazas son rectangulares de 25.4 mm (1 pulgada) de ancho y 50.8 mm (2 pulgadas) de largo, las cuales se colocan en la parte central del geotextil y lo sujetan en los extremos superior e inferior. El ensayo de resistencia a la tensión por el método Grab se utiliza principalmente como un ensayo de control de calidad del geotextil. Los resultados de resistencia se dan en términos de fuerza (N, lb, 1lb \approx 4.45N) y los de elongación en porcentaje.

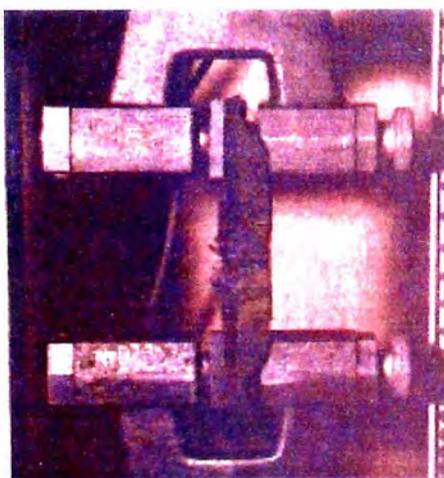


Fig. 1.11 Ensayo de Resistencia a la Tensión por el Método Grab (ASTM D-4632)

Método Tira Ancha (Wide – Width)

El ensayo de resistencia a la tensión por el método de la tira ancha (wide- width) permite obtener propiedades de los geotextiles que se utilizan como parámetros de diseño en las aplicaciones de refuerzo. Para este ensayo se utilizan muestras de geotextil de 203.2 mm (8 pulgadas) de ancho con una distancia de 101.6 mm (4 pulgadas) entre las dos caras opuestas de las mordazas.

En este caso el área de geotextil que se sujeta con las mordazas es mayor y se acerca mucho más a las condiciones reales del comportamiento del geotextil en los suelos. Las mordazas tienen 228.6mm (9 pulgadas) de largo y 38.1 mm (1.5 pulgadas) de alto. Con el método de la tira ancha se determina la fuerza a tensión por unidad de longitud (N/m, lb/pulgada, 1 lb/pulgada \approx 175.2 N/m) y las elongaciones correspondientes en porcentaje. Con la curva de fuerza-elongación o esfuerzo-deformación se obtiene la resistencia máxima y la elongación máxima y los módulos de elasticidad del material (módulo inicial, módulo offset, módulo secante).

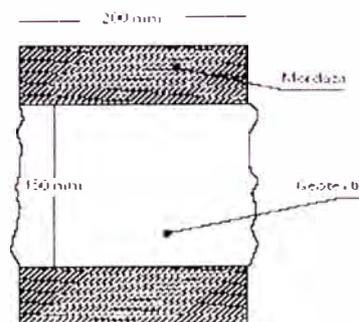


Fig 1 12 Metodo de la Tira Ancha

Es importante resaltar la diferencia que existe entre la resistencia a la tensión que se determina por el método Grab y la resistencia a la tensión por el método de la tira ancha, para evitar problemas en las aplicaciones del geotextil. Como se mencionó anteriormente, los datos de resistencia Grab son generalmente valores índice y de reporte para el control de calidad del geotextil, dato que aparece en las especificaciones técnicas del producto. En efecto, los geotextiles tienden a tener una alta relación de Poisson cuando se tensionan bajo esfuerzos que van incrementando y cuando las fibras o las cintas comienzan a desprenderse en forma independiente (desflecarse), dando como resultado valores muy altos que

no son reales para el diseño. El ensayo de resistencia a la tensión por el método de la tira ancha (wide- width) controla este efecto y por lo tanto se debe utilizar este valor para el diseño con geotextiles.



Fig. 1.13 Ensayo de Resistencia a la Tensión por el Método de la Tira Ancha Wide – Width (ASTM D-4595)

Resistencia al estallido (Mullen Burst)

El ensayo Mullen Burst permite determinar la resistencia que tiene un geotextil al ser sometido a una presión multidireccional. Para esta prueba se utiliza una membrana plástica para distorsionar una muestra de geotextil en forma de semi-esfera. El geotextil estalla cuando no hay más deformación posible. El procedimiento de ensayo está dado por la norma ASTM D-3786. Los resultados de resistencia al estallido están dados en términos de presión (kPa, psi, $1\text{kPa} \approx 0.145\text{ psi}$). Este ensayo permite evaluar las condiciones de supervivencia del geotextil.



Fig. 1.14 Ensayo de Resistencia al Estallido Mullen Burst (ASTM D-3786)

Resistencia al rasgado trapezoidal

Durante el proceso de instalación, los geotextiles están sometidos a fuerzas de rasgado. El ensayo más utilizado para determinar la resistencia al rasgado de un geotextil es el ensayo de rasgado trapezoidal según la norma ASTM D-4533, en el que se obtiene la fuerza que se requiere para romper las fibras o las cintas del geotextil en forma individual. Para esto se utiliza un espécimen rectangular de geotextil de 76.2 mm (3 pulgadas) por 201.6 mm (8 pulgadas), en el que se dibuja un trapecio isósceles como se muestra en la figura 1.15. Se hace un corte preliminar de 15.9mm (0.625 pulgada) de largo en el centro de la base menor (25.4 mm = 1 pulgada) del trapecio dibujado. El espécimen se coloca entre dos mordazas, similares a las del ensayo del método Grab y se somete a tensión en el equipo de ensayo. La carga que se aplica ejerce primero tensión en las fibras o cintas del geotextil antes que en su estructura y el ensayo se realiza hasta que las fibras o las cintas se comiencen a romper. La resistencia al rasgado trapezoidal se obtiene en términos de fuerza (N, !b, 1lb \approx 4.45 N).

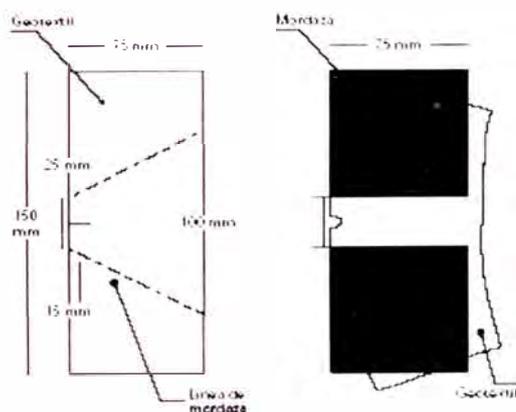


Fig. 1 15 Ensayo de rasgado trapezoidal

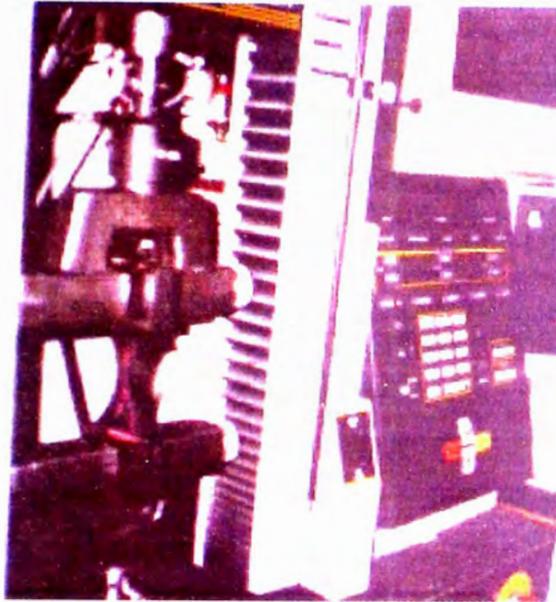


Fig. 1.16 Ensayo de Resistencia al Rasgado (ASTM D-4533)

Resistencia al punzonamiento

Durante el proceso de instalación los geotextiles pueden romperse o desgastarse con materiales que estén en contacto directo con su superficie tales como elementos punzantes, piedras angulares, ranas de árboles, desechos de construcción.

El procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al punzonamiento está dado por la norma ASTM D-4833. El ensayo consiste en colocar una muestra de geotextil, firmemente tensionada por unas mordazas en forma de anillo de 45 ± 0.025 mm (1.772 ± 0.001 pulgada) de diámetro interno y 100 ± 0.025 mm (3.397 ± 0.001 pulgada) de diámetro externo, que se fijan en la máquina de ensayo de tensión y compresión. Para el ensayo se utiliza un vástago de acero de 8 ± 0.01 mm (0.35 ± 0.005 pulgada) de diámetro con punta plana, formando un ángulo de 45° entre el eje y la superficie del geotextil, el cual atraviesa la muestra de geotextil a una velocidad estándar (300 ± 10 mm/min) hasta punzar completamente el geotextil.

La resistencia al punzonamiento se obtiene de la fuerza máxima registrada durante el ensayo y se da en términos de fuerza (N, lb) aunque exista un área de contacto con el vástago. Este ensayo se considera un ensayo índice y sus resultados son generalmente presentados en las especificaciones.

Las propiedades físicas y mecánicas descritas son las más usuales y las más utilizadas para la caracterización de los geotextiles.

Existen otras propiedades tales como gravedad específica, rigidez, flexibilidad,

dentro de las características físicas; compresibilidad, resistencia a la tensión confinada, resistencia a la fatiga, resistencia a impactos en los procesos de instalación, dentro de las propiedades mecánicas y se evalúan en casos particulares según los requerimientos del proyecto. Estas propiedades al igual que las anteriores se determinan con ensayos de laboratorio bajo las normas ASTM correspondientes.

Dentro de las propiedades mencionadas, unas están relacionadas con las especificaciones para el diseño según cada aplicación, otras corresponden a la supervivencia del geotextil durante los procesos de instalación y existen otras que son propiedades índice para el control de calidad de los productores; lo importante es conocer el uso de cada una de ellas y el nivel de importancia en el momento de utilizar el geotextil para la aplicación especificada.

Por otro lado existen normas internacionales para la utilización de los geotextiles que definen valores mínimos de las propiedades requeridas según el campo de aplicación, datos que se deben comparar y verificar en cada uno de los proyectos en los que intervienen los geotextiles.

Como normas están la norma M288 de la ASTM, la norma Task Force 25 de la AGC, ARTBA y AASHTO.

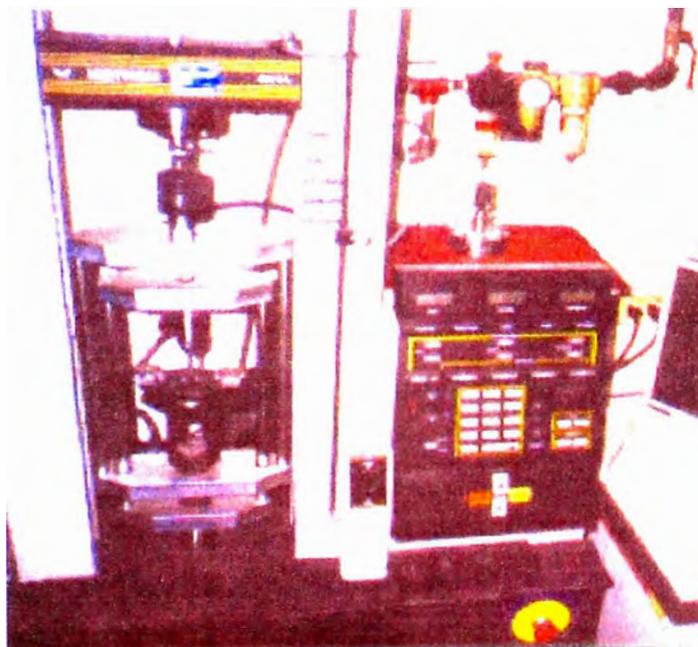


Fig. 1.17 Ensayo de Resistencia al Punzonamiento (ASTM D-4833)

1.5.3 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE LOS GEOTEXTILES

Los geosintéticos al igual que todos los materiales utilizados en la construcción de obras civiles y de infraestructura es necesario caracterizarlos con el fin de establecer una serie de propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas. Que serán utilizadas en procedimientos de diseño de obras de ingeniería. Para establecer estas propiedades se deben seguir unos procedimientos normalizados con equipos descritos en las respectivas normas. Las propiedades de los geosintéticos, y en particular la de los geotextiles, al ser utilizadas en metodologías racionales de diseño permiten seleccionar el geotextil adecuado para cada caso, garantizando su correcta funcionalidad aportando calidad y durabilidad a las diferentes obras civiles. En esta parte se hará una descripción detallada de las propiedades hidráulicas de los geotextiles y se mencionará la importancia de cada una de las propiedades dependiendo de la función que se quiera evaluar.

Porosidad

La porosidad de los geotextiles se define de la misma manera que en mecánica de suelos, siendo la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total. Esta propiedad refleja la habilidad que tiene un líquido de pasar a través de un medio poroso, a medida que presente más porosidad opone menor resistencia al paso de los fluidos. Normalmente la porosidad es calculada, no medida, y se puede calcular de la siguiente manera:

$$n = 1 - m / (p \cdot t) \quad \text{Ec (11)}$$

donde:

n: Porosidad (adimensional)

m: Masa por unidad de área (g/m²)

p: Densidad de la materia prima (Polipropileno 0.93 g/m³)

t: Espesor del geotextil (m)

La porosidad es una propiedad hidráulica de los geotextiles muy importante a tener en cuenta en el diseño de filtros debido a que está directamente relacionada con la resistencia a la colmatación.

Entre mayor sea la porosidad de un geotextil menor será la probabilidad de que se taponen sus vacíos. Los geotextiles que mayor porosidad presentan son los

geotextiles no tejidos punzonados por agujas, los cuales presentan porosidades mayores al 80%.

La Federal Highway recomienda que los geotextiles a usar en procesos de filtración deben tener una porosidad mayor al 50%.

Tamaño de abertura aparente

El tamaño de abertura aparente hace parte de los ensayos que establecen las propiedades hidráulicas de los geotextiles.

Este ensayo fue desarrollado por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos para evaluar a los geotextiles tejidos, y posteriormente se utilizó para evaluar todos los geotextiles. El ensayo de tamaño de abertura aparente (TAA) es definido en la norma ASTM D- 4751 y se utiliza para determinar el tamaño de abertura de los poros del geotextil.

El ensayo consiste en hacer pasar, en virtud de su propio peso unas esferas de vidrio de diámetro conocido a través del geotextil, variando en forma ascendente el tamaño de los diámetros de las esferas. Este procedimiento se repite hasta obtener un diámetro tal que el geotextil retenga el 95% de las esferas. (Ver figura 1.18).



Fig. 1.18 Tamiz de tamaño de abertura aparente

El tamaño en milímetros para el cual se cumple la anterior condición define el O_{95} y el correspondiente número de tamiz para ese tamaño en milímetros define el TAA. Ver tabla 1.1.

Tabla 1.1 Abertura de tamices

Nº Tamiz	Diámetro (mm)
4	4 750
6	3 350
8	2 360
10	2 000
16	1 180
20	0 850
30	0 600
40	0 425
50	0 300
60	0 250
70	0 210
80	0 180
100	0 150
140	0 106
170	0 088
200	0 075
270	0 053
400	0 037

Generalmente para el diseño de filtros se trabaja con el O_{95} , dato que refleja la capacidad de los geotextiles de retener partículas de suelo. Los geotextiles usados en aplicaciones de filtración y drenaje deben tener un O_{95} muy pequeño (< 0.3 mm), para que no permitan el paso de partículas finas de suelo a través del geotextil, pero simultáneamente exhibir valores altos de permeabilidad (por lo menos 10 veces mayor a la del suelo que estará filtrando) para que permitan fácilmente el paso del agua. Los geotextiles que mejor combinan estos dos aspectos son los geotextiles no tejidos punzonados por agujas. Para tener una idea global del funcionamiento de los geotextiles se puede decir que un geotextil no tejido punzonado por agujas puede presentar un O_{95} de 0.1 mm aproximadamente y simultáneamente una permeabilidad de 2.8 cm/s, mientras que un geotextil tejido de cinta plana o un no tejido termo unido puede presentar un O_{95} de 0.25 mm aproximadamente con una permeabilidad de 0.035 cm/s, razón por la cual los geotextiles no tejidos punzonados por agujas presentan un mejor comportamiento en sistemas de filtración.

Permitividad

La función principal de los geotextiles en procesos de filtración es permitir el paso de los fluidos perpendicular a su plano reteniendo las partículas finas de suelo. Para evaluar la propiedad de los geotextiles para permitir el paso del agua se realiza el ensayo de permitividad. El ensayo de permitividad se describe en la norma ASTM D- 4491. La permitividad depende de la permeabilidad y del espesor del geotextil, definiéndose de la siguiente manera:

$$Y = Kn / t \quad \text{Ec (1 2)}$$

Donde:

y: Permitividad (s^{-1})

kn: Permeabilidad (llamada conductividad hidráulica) perpendicular al geotextil (m/s)

t: Espesor del geotextil (m)

El equipo para desarrollar el ensayo de permitividad está compuesto por un permeámetro que puede realizar ensayos de carga constante y de carga variable. Ver Fig. 1.19. Para deducir el valor de la permitividad se aplica la ecuación de Darcy de la siguiente manera:

$$q = Kn i A = Kn (dh/t)A \quad \text{Ec (1 3)}$$

$$Kn / t = Y = q / (dh) (A) \quad \text{Ec (1 4)}$$

Donde:

q: tasa de flujo (m^3/s)

i: gradiente hidráulico (adimensional)

dh: carga total (m)

A: área total de la muestra de geotextil (m^2)

Por ejemplo para una altura constante de agua (carga de energía = h) con un área conocida de geotextil se mide la cantidad de agua que pasa por unidad de tiempo y se determina el caudal, datos que permiten calcular la permitividad de los geotextiles.



Fig 1.19 Equipo de permitividad

Transmisividad. Permeabilidad en el plano

Los geotextiles que presentan un espesor considerable (> 2 mm) pueden transportar agua a través de su plano, propiedad que se conoce con el nombre de transmisividad. La norma para la realización del ensayo es la ASTM D-4716. La variación del espesor de los geotextiles es función de la magnitud del esfuerzo de compresión al que está sometido, es por esto que el ensayo de transmisividad se realiza bajo presiones y en equipos estandarizados. Ver figura 1.20. Para calcular la transmisividad (θ) de los geotextiles se hace uso de la ecuación de Darcy:

$$q = K_p * i * A = K_p * i (w * t) \quad \text{Ec. (1.5)}$$

$$K_p * t = \theta = q / (i * w) \quad \text{Ec. (1.6)}$$

Donde:

θ : Transmisividad del geotextil ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)

K_p : Permeabilidad (Conductividad hidráulica) en el plano del geotextil (m/s)

t : Espesor del geotextil en (m)

q : Tasa de flujo (m^3/s)

w : Ancho del geotextil (m)

i : Gradiente hidráulico (adimensional)= dh/L

dh : Carga total (m)

L : Longitud del geotextil (m)

Fig 1 20 Equipo utilizado para la medición de la transmisividad de los Geotextiles (flujo a través de su plano)

Según ensayos realizados a geotextiles no tejidos punzonados por agujas, se estima que la presión normal para la cual se estabiliza la transmisividad es 85 Kpa. Ver figura 1.21.

Esta propiedad de transportar agua en el plano (transmisividad) de los geotextiles no tejidos punzonados por agujas tiene muchas aplicaciones, por ejemplo interceptar el nivel freático de una via en que el geotextil actúe a nivel de subrasante y transporten el flujo hasta los subdrenes, otra aplicación puede ser como elemento de captación de agua en los espaldones de muros de contención. Existen otros ensayos para establecer propiedades hidráulicas de los geotextiles tales como: Retención de suelos para líquidos turbios y Silt Fences, ensayos de colmatación. Sin embargo estos ensayos se realizan para condiciones particulares de cada proyecto y para casos especiales.

Resultados de Ensayos de Transmisividad para Geotextiles No Tejidos Punzonados por Agujas

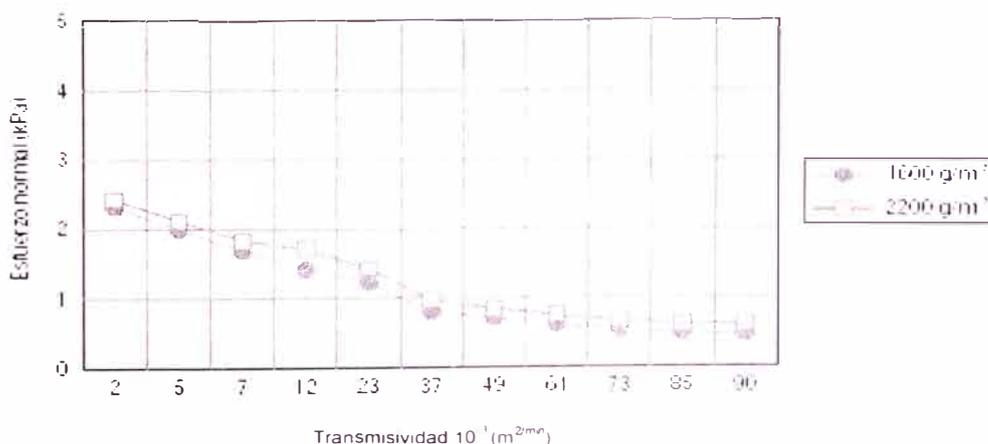


Fig 1 21 Extractada del libro Designing with Geosynthetics fourth edition, capítulo 2, figura 2 17 Año 1998

1.6 APLICACIONES DE LOS GEOTEXTILES

1.6.1 EN VÍAS

En la construcción de vías pavimentadas y no pavimentadas los geotextiles mejoran la capacidad portante del terreno, al permitir una mejor distribución de las cargas producidas por el tráfico. Actúan como separador entre la sub-base y la subrasante, evitando la contaminación debido al ascenso de finos por cargas repetitivas. Los geotextiles en vías presentan los siguientes beneficios:

- Permiten la construcción de vías sobre suelos blandos y saturados.
- Disminuyen los espesores iniciales de la base y sub-base.
- Logran un mejor confinamiento de los agregados.
- Disminuyen el desarrollo de baches o hundimientos.
- Crean una condición drenada en el relleno, mejorando las propiedades de resistencia del material.

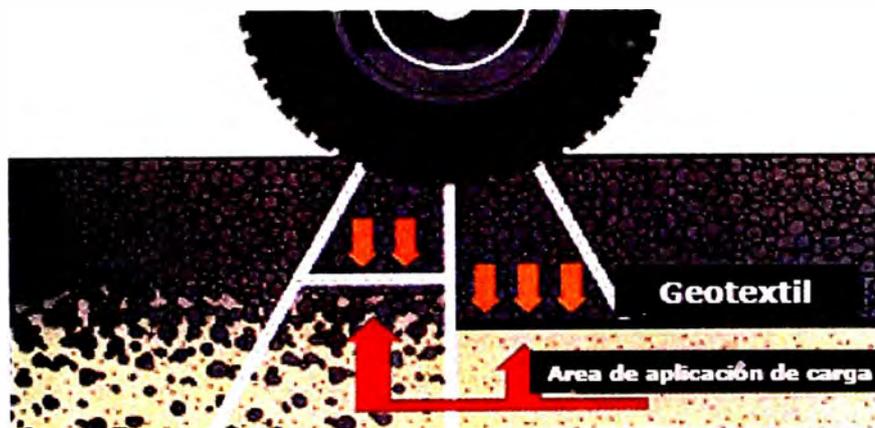


Fig. 1.22 Esquema comparativo de vías sin/con geotextil

1.6.2 EN REPAVIMENTACIÓN

El exceso de humedad en las vías es la causa principal del deterioro de los pavimentos. Los geotextiles se colocan entre la superficie de la estructura vieja y la nueva capa de rodadura.

El tipo de geotextil que se emplean son los no tejidos, y presentan las siguientes ventajas:

- Retardan la propagación de fisuras del pavimento antiguo a la nueva superficie.
- Actúan como barrera impermeable que impide la penetración del agua a

la sub-estructura del pavimento.

- Mejoran las condiciones de estabilidad del pavimento.



Fig. 1.23 Repavimentación Av. Aviación – Lima - Perú

1.6.3 EN VÍAS FÉRREAS

Los geotextiles en vías férreas, actúan como separador y medio de filtración del balastro y el terreno, prolongando la vida útil de la ferrovía al impedir la contaminación del balastro con los finos del suelo. Distribuyen las cargas transmitidas por el ferrocarril al terreno de fundación, logrando un mejor comportamiento de la vía.



Fig. 1.24 Via férrea con geotextil

1.6.4 EN SUBDRENES

Los geotextiles no tejidos punzonados por agujas, pueden ser usados como elementos permeables en la construcción de sistemas de drenaje (carreteras, campos deportivos, edificaciones, etc); permitiendo el paso del agua y filtrando los materiales finos.

Los geotextiles en subdrenes presentan las siguientes ventajas:

- Incrementan la vida útil de las estructuras de drenaje.
- Evitan la colmatación del material drenante.
- Aumentan la capacidad de evacuación de los líquidos.

1.6.5 EN MUROS DE CONTENCIÓN

Los geotextiles cumplen una función de refuerzo, permitiendo la construcción de sistemas de contención, en conjunto con los materiales del sitio.

- Disminuyen el costo total de la obra comparativamente con sistemas convencionales de construcción.
- Reducen el tiempo de construcción.
- No requieren de mano de obra ni equipo especializado para su construcción.



Fig 1.25 Muro de contención con geotextiles

1.6.6 EN TERRAPLENES

Cuando la fundación es de baja capacidad portante y no ofrece un factor de seguridad adecuado, los sistemas convencionales (pilotes, empalizadas, empedrado), requieren de altas inversiones. El geotextil absorbe esfuerzos de tensión, mejorando la capacidad portante del terreno, permitiendo así el desarrollo del proceso constructivo con una mínima inversión.



Fig 1.26 Aplicación del geotextil en terraplenes.

1.6.7 EN GAVIONES

Los geotextiles no tejidos punzonados por agujas, actúan como filtro, evitando la contaminación de los gaviones con los finos del talud por causa de la entrada y salida del agua de escorrentía.

- Disipan las presiones hidrostáticas sobre el espaldon de los gaviones, asegurando su estabilidad.
- Impiden la socavación de los materiales del talud.



Fig 1.27 Aplicación del geotextil en defensa ribereña.

1.6.8 EN TUNELES

Los geotextiles se emplean en la construcción de túneles revestidos en concreto. Disipan la presión hidrostática sobre la geomembrana impermeable y conducen el agua a un sistema de drenaje, asegurando que el túnel permanezca seco.

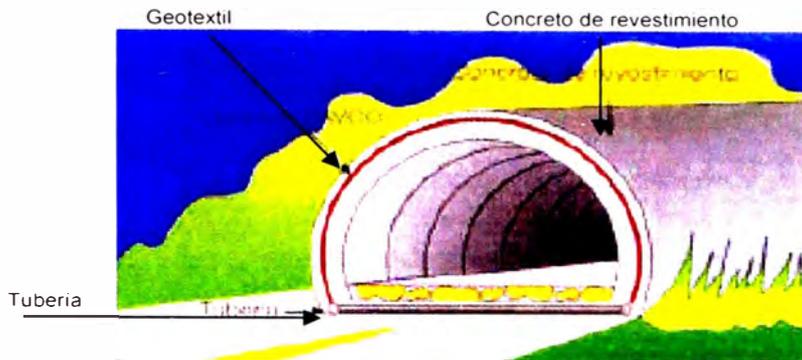


Fig 1.28 Aplicación del geotextil en túneles.

1.6.9 EN PRESAS, DIQUES Y CANALES

Los geotextiles cumplen con las funciones de filtración y separación entre el material sumergido y el material grueso de protección tales como enrocados. Previenen la erosión de los diques por el arrastre de los finos con el agua.

1.6.10 EN EMBALSES Y RELLENOS SANITARIOS

Los geotextiles no tejidos punzonados por agujas, por su resistencia al punzonamiento, se usan para proteger las geomembranas de los esfuerzos inducidos por objetos angulosos, asegurando la impermeabilidad del sistema por su capacidad de drenaje planar, disipando subpresiones causadas por fluidos.

EMBALSES

Funcionan como un colchón que evita el punzonamiento de la geomembrana.

- Crea un plano de ventilación de gases.
- Disipan las subpresiones de agua.



Fig. 1.29 Aplicación del geotextil en embalses.

RELLENOS SANITARIOS

- Actúan como detector de fugas o infiltraciones de lixiviados.
- Evitan el punzonamiento de las geomembranas durante la construcción.
- Trabajan como transmisor de fluidos o disipador de gases, evitando la explosión de las geomembranas.

1.6.11 EN MUELLES Y PUENTES

En la construcción de muelles y puentes, los geotextiles actúan como filtros en los pilares, evitando la erosión del suelo de fundación producidas por las corrientes de agua.

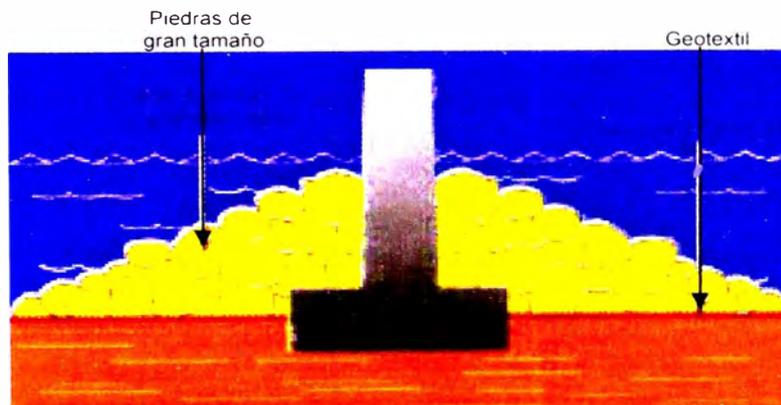


Fig. 1.31 Aplicación del geotextil en pilares de muelles y puentes.

CAPITULO II RESUMEN EJECUTIVO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

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 está referido a la construcción de un pavimento a nivel de afirmado, con geotextil de refuerzo y estabilización.

2.1 OBJETIVO

El objetivo principal fue construir un tramo experimental de vía afirmada considerando la incorporación de un geotextil tejido tipo TR 4000, el cual actuó como refuerzo y estabilización, de tal manera que aumentó la capacidad de soporte del terreno de fundación, aumentó su vida útil y redujo el espesor de la capa del material granular utilizada, en comparación con el de un pavimento tradicional.

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

2.2 UBICACIÓN

La zona seleccionada para la construcción del tramo experimental se ubicó en el área del Laboratorio Nacional de Hidráulica, el cual se encuentra dentro del campus universitario de la Universidad Nacional de Ingeniería. Específicamente frente al sector "J", adyacente al muro perimetral que circunda el Laboratorio de Hidráulica.

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



Fig. 2.1 Ubicación de la zona donde se construirá el pavimento.

2.3 TOPOGRAFÍA

Se efectuó un levantamiento topográfico de la zona donde se realizó 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 esta ubicado en el Departamento Académico de topografía el cual tiene una cota de 108.255 m.s.n.m.

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



Fig. 2.2 Ubicación del BM de apoyo localizado en el Departamento de Topografía.



Fig. 2.3 BM topográfico (placa de bronce).

Se tomaron 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. 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. 2.4 Punto de control sobre plataforma adyacente a la zona de trabajo.



Fig. 2.5 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

2.4 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 parámetro importante entre otros para el diseño del pavimento.

2.4.1 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 de los suelos existentes en la zona a trabajar fue necesario realizar previamente la degradación del suelo para poder llevar a cabo el trabajo práctico, lo cual se realizó de la siguiente manera

Como una primera alternativa se inspeccionó 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 hacía 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 quedó 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.

2.4.2 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

asentadas en forma irregular en toda el área de trabajo. La limpieza fue realizada por los integrantes de los grupos de pavimentos.



Fig. 2.6 Limpieza de la zona de trabajo.



Fig. 2.7 Otra vista de los trabajos de limpieza previa a la excavación.



Fig. 2.8 Otra vista de la preparación de la zona.

El estudio de suelos en la zona donde se construyó el tramo experimental se efectuó 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 consistió en un rectángulo de 3.30 m de ancho, y 10.0 m de largo, para el cual se realizaron las excavaciones de dos calicatas denominadas C – 1 y C – 2, los cuales presentaron la siguiente estratigrafía:

Calicata C – 1: Presentó una capa superficial entre 0.00 m – 0.60 m, conformado por limos arenosos en estado compacto, seco, color marrón claro, de baja plasticidad. Presentó gravas de TM 1/2" en un 5 %. Este suelo se clasifica en el Sistema Unificado SUCS como ML, y en el Sistema de Clasificación AASHTO como A-4.

De 0.60 m – 1.20 m continuó 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 %. Su clasificación resultó 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, continuó 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 %. Su clasificación resultó en el Sistema Unificado SUCS como GP, y en el Sistema de Clasificación AASHTO como A-1-a(0).

Luego se delimitó el área de trabajo y se procedió a realizar la excavación mediante un cargador frontal, para una longitud de 10.0 m, ancho de 3.30 m, y una profundidad de 1.2 m.



Fig. 2.9 Vista parcial de la zona de trabajo.



Fig. 2.10 Inicio de la excavación con el cargador frontal



Fig. 2.11 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 fue tratado 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.

2.4.3 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 se orientaron para obtener la curva de correlación CBR versus penetración (N). El valor del CBR para dicho material resultó 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.



Fig. 2.12 Penetrómetro en la poza experimental.



Fig. 2.13 Otra vista del Penetrómetro en la poza experimental.



Fig. 2.14 Prueba de resistencia del suelo con Penetrómetro.



Fig. 2.15 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 (DFL).

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



Fig. 2.16 Ensayo de penetración con equipo DPL



Fig. 2.17 Ensayo penetración DPL en el laboratorio de suelos y geotecnia.

El ensayo se realizó 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 D 1883, incluido el ensayo Proctor Modificado ASTM C 1555

También se tomó 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 conformó el terreno de fundación fuese degradado de tal manera que el valor de la capacidad de soporte baje hasta valores menores a 1 % de CBR, fue necesario humedecerlo a tal punto que el grado de saturación sea del 100 %. El volumen de agua añadido se calculó de la siguiente manera:

Volumen del relleno con material degradado

$$V_t = 3.35 \times 10.0 \times 0.60 = 20.10 \text{ m}^3$$

$$V_{WADIC} = (W_{WADIC} / \gamma_w) \tag{Ec (2.1)}$$

$$\Delta W = (W_{WADIC} / W_s) \longrightarrow W_{WADIC} = \Delta W \times W_{SAT} \tag{Ec (2.2)}$$

$$W_{WADIC} = (W_{SAT} - W_{SAT}) \times \gamma_d \times V_t \tag{Ec (2.3)}$$

Donde:

W_{WADIC} = Peso de agua adicional

W_{SAT} = Humedad de saturación

W_{SAT} = 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:

$$w = W_w / W_s \qquad w = ([\gamma_w \times V_w] / [\gamma_s \times V_s]) \times (V_s / V_t) \tag{Ec (2.4)}$$

$$(\gamma_s / \gamma_w) \times w = (V_w / V_s) \times (V_s / V_t) \tag{Ec (2.5)}$$

$$G_s \times w = S \times e \tag{Ec (2.6)}$$

$$S = 1 \text{ (Estado saturado)} \longrightarrow W_{SAT} = (1.0 \times e) / G_s \tag{Ec (2.7)}$$

Considerando los resultados de laboratorio:

$$G_{s1} = 2.54$$

$$G_{s2} = 2.60$$

$$G_{s\text{prom}} = 2.57$$

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

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

$$e = 0.679$$

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

$$W_{sU} = 0.264$$

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

$$W_s = \gamma_d \times V_t$$

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

$$W_s = 30.954.0 \text{ kg}$$

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

$$W_{\text{water}} = \Delta W \times W_s = (W_{sU} - W_{sU}) \times W_s / 100 = (26.4 - 2.07) \times 30.954 / 100$$

$$W_{\text{water}} = 7.53 \text{ ton}$$

$$V_{\text{water}} = 7.53 \text{ m}^3$$

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

Para conservar el agua añadida se ha impermeabilizó la excavación mediante un plástico grueso de buena resistencia, el cual fue colocado en toda el área, de manera que quede encapsulado el suelo, como se muestra en las siguientes figuras:



Fig. 2.18 Impermeabilización de la excavación.

Luego de haber impermeabilizado la excavación se procedió a rellenar con material arcilloso-limoso el cual fue 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. 2.19 Relleno con material arcilloso limoso.



Fig. 2.20 Avance del relleno con el material fino.



Fig. 2.21 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 añadida 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.

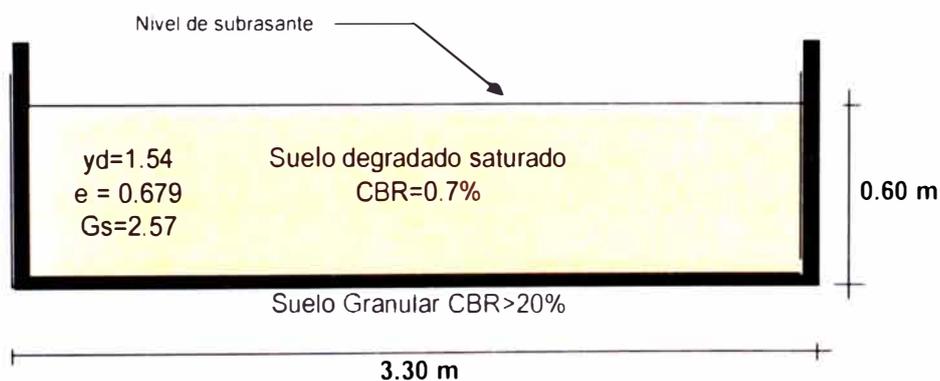


Fig. 2.22 Esquema suelo subrasante sobre el cual se ha diseñado el pavimento

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. 2.23 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, eliminado 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 via experimental, se procedió a doblar hacia los bordes laterales y anclarlo mediante clavijas hacia los estratos adyacentes.



Fig. 2.24 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 utilizo 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 realizo 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. 2.25 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. 2.26 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 colocado 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. 2.27 Compactación mecánica de la capa 2.



Fig. 2.28 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.



Fig. 2.29 Vista de colocación plantilla para la capa 4, y control compactación capa 3.



Fig. 2.30 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. 2.31 Vista de la vía afirmada reforzada con geotextil tejido TR 4000 terminada.



Fig. 2.32 Otra vista de la via terminada.

2.4.4 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 D 422
- Límites de Atterberg (LL, LP) ASTM D 4318
- Humedad Natural ASTM D 2216
- Razón Soporte California (CBR) ASTM D1883

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(0).

CAPITULO III: ESTADO DEL ARTE DE LOS ENSAYOS DE CONTROL Y MONITOREO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

En el presente capítulo, primeramente se presentará en forma general en que consiste la evaluación de pavimentos y seguidamente se hará una descripción del estado del arte de la evaluación de pavimentos durante el proceso constructivo.

Los ensayos de control y monitoreo en carreteras están inmersos en el término denominado **EVALUACION DE PAVIMENTOS**, el cual comprende las actividades necesarias (por métodos o procedimientos) para el conocimiento de la condición de un pavimento. Estas actividades implican una investigación de la condición, ya sea, en el ámbito superficial como en el ámbito de su estructura mediante la utilización de métodos subjetivos, visuales o instrumentales.

Con lo anterior hemos definido el concepto, ahora definamos los objetivos; estos pueden ser, desde su aplicación como un control de calidad, durante su etapa de construcción y post-construcción, hasta su aplicación como un monitoreo de la evolución del deterioro debido a las sollicitaciones del tránsito o el medio ambiente, durante el tiempo de servicio del pavimento. En conclusión, el principal objetivo de un proceso de evaluación es llegar a un juicio sobre la capacidad estructural y de servicio, en el que se sintetizan todos los estudios, con el cual se eligen los parámetros necesarios, para adoptar un sistema y llevar a cabo un proceso de rehabilitación o mantenimiento.

3.1 CLASIFICACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

Se puede clasificar a la evaluación de pavimentos en dos grupos representativos: la evaluación superficial y la evaluación estructural.

3.1.1 LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL

Comprende principalmente los aspectos vinculados a la función y a la condición o estado de la superficie de un pavimento. Abarca tres aspectos importantes:

- La evaluación de fallas observadas en la superficie, mostrando la severidad y extensión del deterioro. La metodología aplicada para su determinación es variada y desarrollada por distintos organismos en el mundo, entre los más conocidos y aplicados en el Perú son: el publicado por el Consorcio de Rehabilitación Vial (CONREVIAl), y el método (PCI)

publicado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. Para la recolección de los datos de fallas existen procedimientos visuales, automatizados y una combinación de ambos. Los procedimientos visuales son aquellos obtenidos mediante registros en forma manual, los automatizados realizan una recolección de fallas a través de cámaras de video o fotografía digital, que son analizadas posteriormente; uno de los equipos que aplica esta tecnología y es conocido en el Perú es el ARAN que es un vehículo multifuncional, es decir, que no solo registra fallas, realiza todos los registros necesarios para la evaluación integral de un pavimento. Los sistemas semi-automatizados como el VIZIROAD realizan la recolección de datos mediante un registro visual a través de un teclado conectado a una computadora.

- La evaluación funcional o de la serviciabilidad del pavimento, está relacionado a la comodidad y transitabilidad que percibe un pasajero durante el recorrido en un vehículo. La serviciabilidad o rugosidad se determina a través del PSI o el IRI mediante medios subjetivos o instrumentales. Actualmente el medio más empleado es con instrumentos denominados perfilómetros, que realizan la medición del perfil o rugosidad del pavimento, o con rugosímetros, que miden las rugosidades del pavimento por correlación con las medidas de equipos de precisión, de este tipo de instrumentos, uno de los más conocidos en la actualidad es el BUMP INTEGRATOR.
- La evaluación de la seguridad, se relaciona a la capacidad de la vía para brindar seguridad a los usuarios durante su recorrido, mediante la geometría, textura de su superficie, señalizaciones viales, dispositivos de seguridad, etc. De manera similar que en los puntos anteriores existen métodos y procedimientos para conocer los indicadores de seguridad de los pavimentos, existen en la actualidad equipos muy sofisticados como los equipos multifunciones, ya mencionados, que incorporan sistemas de medición y recolección de datos, uno de ellos como se menciona es el ARAN.

3.1.2 LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

La evaluación estructural consiste en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento – subrasante en un sistema vial existente, a lo largo de su vida de servicio. Para la determinación de dicha capacidad, existen diversos métodos, los cuales se clasifican en métodos destructivos y métodos no destructivos.

Los métodos de evaluaciones destructivas consisten en tomas de muestras o de medidas directas "in situ", a través de perforaciones en la estructura del pavimento, conocidas como calicatas. Actualmente los métodos no destructivos tienen mayor aplicación por ser métodos mas rápidos, simples y por lo general económicos, además no altera la integridad de la estructura del pavimento.

En el Perú, para la evaluación estructural se aplican básicamente procedimientos deflectométricos. La deflectometría es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de un pavimento a consecuencia de la acción de una determinada carga. Las fallas estructurales fundamentalmente dependen de la magnitud y frecuencia de las deformaciones recuperables y de la acumulación de las deformaciones permanentes en las estructuras, bajo la acción de las cargas móviles y/o estáticas. En consecuencia, es lógico que el criterio dominante para valorar la capacidad estructural se base en base en la deformabilidad de las calzadas bajo cargas normalizadas. De esta manera, la deflexión es una medida de la respuesta del conjunto pavimento – subrasante frente a una determinada sollicitación. La existencia de una correlación entre deflexiones y la presencia o rápido desarrollo de fallas por fatiga y la posibilidad de establecer un orden de valores tolerables con relación al transito, constituyen la base de su difundida utilización.

El campo de aplicación de estas mediciones es muy amplio empleándose principalmente para:

- Determinar la vida útil remanente de un pavimento.
- Determinar la condición de un pavimento con miras a su conservación.
- Evaluar los métodos de diseño de pavimentos mediante un control durante la ejecución de obras.
- Evaluar estructuralmente pavimentos (tiene la ventaja de evaluar todas las condiciones localizadas, como drenaje, condición de la base, etc) con miras a su rehabilitación.

- En determinadas regiones, seleccionar la carga por rueda permitida en periodos críticos (generalmente durante los deshielos)

Existen gran cantidad de equipos destinados a medir las deflexiones de un pavimento, encontrándose desde los mas simples y bien conocidos como la Viga Benkelman, hasta los mas sofisticados y costosos pero de gran rendimiento operacional como el FWD (Deflectómetro de Impacto de Carga).

3.2 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL PAVIMENTO DURANTE EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

La evaluación de la capacidad estructural y funcional capa a capa durante la construcción del pavimento utilizando ensayos no destructivos, es una alternativa usada en otros países. Actualmente estas tecnologías existen en el Perú y son ampliamente utilizadas para la recepción y evaluación de pavimentos en servicio, no así para el control de calidad durante la construcción.

Durante la construcción de una estructura de pavimento se llevan a cabo un conjunto de ensayos (tradicionales) para determinar las características de las capas, de forma tal que cumplan con las especificaciones del proyecto y los requerimientos del diseño. Sin embargo, muchos de estos ensayos tienen por objetivo determinar las características constitutivas, mecánicas y de colocación para cada capa de forma individual y no consideran el comportamiento de la estructura como un conjunto.

Además, la mayoría de los ensayos realizados para control de los materiales representan el comportamiento del material en laboratorio, y no necesariamente representa su comportamiento in situ.

Es importante buscar indicadores que permitan complementariamente evaluar la estructura del pavimento como un conjunto y con sus propiedades en terreno. Esto permitirá modelar adecuadamente la estructura de pavimento al momento de diseñarla y realizar correcciones durante la construcción para obtener una estructura homogénea a lo largo del proyecto. También es necesario determinar características funcionales de las capas como su irregularidad y textura durante la construcción, lo cual permitirá mejorar la serviciabilidad inicial al momento de la puesta en servicio. Con estos indicadores se podría tener control sobre la homogeneidad y calidad de la estructura y superficie de los pavimentos durante

su construcción, con ello obtener un buen comportamiento y por consiguiente una mayor rentabilidad de la inversión en obras viales.

3.2.1 ESTADO DEL ARTE

La información que se muestra corresponde a publicaciones, reportes e informes nacionales e internacionales. La evaluación de la capacidad estructural y funcional de los pavimentos durante el proceso constructivo con métodos no destructivos es realizada en la mayoría de los casos por los propios constructores, no existe mayoritariamente una normativa definitiva, existen básicamente recomendaciones de la metodología a seguir.

A) ESPECIFICACIONES Y CONTROLES DE EVALUACIÓN DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL REALIZADOS EN EL PERÚ

El Manual de Ensayo de Materiales para Carreteras (EM-2000) no contempla mediciones con deflectómetro de impacto para evaluar la capacidad estructural del pavimento durante la etapa de construcción ni la recepción. Sin embargo, en algunos contratos se exige actualmente la ejecución de una deflectometría de impacto en toda la longitud del camino terminado utilizando una carga de 50 kN y espaciadas cada 100 m en cada pista en pavimentos asfálticos.

B) ESPECIFICACIONES Y CONTROLES DE EVALUACIÓN DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN OTROS PAÍSES

No existe mucha información acerca de umbrales establecidos en cada una de las capas para realizar la evaluación estructural. Las especificaciones y controles de evaluación que se encontraron se limitan en su mayoría sólo a una capa (plataforma de fundación y superficie de rodadura) y los trabajos que se encontraron muestran básicamente la metodología empleada de la medición por capas verificando la importancia de hacer un seguimiento continuo a la estructura durante la construcción.

Un programa de auscultación importante que existe actualmente en España [Ruel, 1998] es el denominado Programa de Auscultación Dinámica de Alto Rendimiento (A.D.A.R.). Dicho programa controla el pavimento durante el proceso de construcción para poder detectar las deficiencias de construcción existentes y repararlas in-situ. Para la evaluación estructural considera que las deflexiones medidas con el FWD en cada una de las capas del pavimento no

deben sobrepasar el 15% de las deflexiones obtenidas de un análisis previo del pavimento a través de un programa multicapa.

También se encontraron las especificaciones constructivas en Israel Public Works Department [Livneh, 2001] en donde se exige el control de la capa de subrasante con el FWD. Las mediciones se realizan cada 20 m con una carga de 22kN. Las deflexiones obtenidas no deben sobrepasar un promedio de 0.5mm y un CV de 40% para secciones en corte y un promedio de 0.4 mm y un CV de 30% para las secciones en relleno.

En Francia se tienen valores de deflexión (medidos con deflectógrafo Lacroix) a fin de controlar la capa de subrasante. Los valores están en función del tipo de tráfico: menos que 75 μm para tráficos T0 y T1, de 75 a 100 μm para tráficos T2 y T3, y valores entre 100 y 150 μm para tráficos T4 y T5.

C) ESPECIFICACIONES Y CONTROLES DE EVALUACIÓN DE CAPACIDAD FUNCIONAL EN EL PERÚ

En el Perú el MTC exige que se controle la capacidad funcional de los pavimentos nuevos a través de la medición rugosidad mediante el IRI en la superficie de rodadura. El valor del IRI es presentado cada 200 m. y la media móvil de 5 tramos consecutivos de 200 m. No se debe superar el valor de IRI de 2m/km en pavimentos asfálticos y de concreto, mientras que en dobles tratamientos superficiales no se debe superar el valor de 3 m/km. En concesiones de vías principales la media móvil (5 tramos de 200 m.) del IRI no debe superar los 3,5 m/km en todo el periodo de explotación. En vías secundarias el umbral es de 4 m/km. No se menciona un control de IRI en las capas de subbase, base, y binder adicional a los controles de compactación, de terminación y de uniformidad.

D) ESPECIFICACIONES Y CONTROLES DE EVALUACIÓN DE CAPACIDAD FUNCIONAL EN OTROS PAÍSES

Actualmente, en otros países se están llevando a cabo proyectos para afinar más aún el valor del IRI inicial en la construcción de pavimentos. En Estados Unidos, la Federal Highway Administration (FHWA) está desarrollando una investigación denominada Pavement Smoothness Initiative, con la finalidad de mejorar la calidad funcional de la red vial [Swanlund, 2000]. Esta investigación tiene como objetivos proponer nuevos valores iniciales de IRI para la recepción

de pavimentos, proponer acciones de mantenimiento efectivas y recomendar especificaciones para controlar el IRI durante el proceso constructivo. Cada estado posee sus propios umbrales de recepción de pavimentos, así como su metodología de evaluación continua de la red vial. En el estado de Georgia, el cual posee las vías con mejor capacidad funcional del país, el 97% de su red vial posee un valor de IRI menor de 1.20 m/km.

España es otro de los países que cuenta con continuos proyectos de investigación para evaluar sus procedimientos de diseño y construcción. La especificación actual sobre regularidad superficial del Ministerio de Fomento para tramos de carretera de nueva construcción se encuentra en la Orden Circular 308/89CyE sobre "Recepción definitiva de Obras" y en la Nota de Servicio complementaria de OC 308/89 en las que fijan criterios sobre regularidad superficial de la capa de rodadura y se exige su cumplimiento. La Tabla 3.1 recoge dicha especificación para capas de rodadura

Tabla 3.1 Especificaciones Españolas – IRI

SUPERFICIE DE RODADURA	% de longitud con IRI (subtramo cada 100m)		
	50	80	100
	1.5 m/km	2.0 m/km	2.5 m/km

Si se asume una distribución normal para la serie de valores de IRI, los percentiles que se muestran anteriormente en las especificaciones españolas permiten definir un valor promedio de 1.85 m/km con una desviación típica de 0.39 m/km. En un estudio realizado en tramos de recepción en obra [Crespo del Río, 1999], se determinó que los valores de IRI obtenidos, así como los valores de las desviaciones correspondientes eran mucho menores a los propuestos por la Norma. Esto demuestra una buena ejecución en obra, además, es importante conseguir un valor promedio adecuado y lograr que las dispersiones de los valores estén acotadas por un valor pequeño de la desviación respecto a la media. Con estos antecedentes, existen especificaciones más rigurosas para algunas concesiones de tramos de autopistas. Se utiliza el IRI dividiendo cada tramo en subtramos de 1000 m. de longitud por sentido y se toman mediciones cada 20 m. en cada uno de ellos.

Los resultados para cada subtramo se presentan en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2 Especificaciones Españolas para algunas concesiones

TIPO DE VIA	IRI MEDIO (m/km)	σ (m/km)	VALOR MAX (m/km)	MEDIA+2 σ
CONSTRUCCION	1.25	0.25	3.0	---
CONSERVACION	---	---	3.0	2.0

El Programa A.D.A.R. [Ruel, 1998] contempla las siguientes especificaciones:

Tabla 3.3 Especificaciones Españolas para el control de IRI por capas

CAPA	PORCENTAJE DE TRAMO		
	50%	80%	100%
SUPERFICIE DE RODADURA	1.5	2.0	2.5
1RA CAPA BAJO RODADURA	2.5	3.5	4.5
2DA CAPA BAJO RODADURA	3.5	5.0	6.5

También se cuenta con las nuevas especificaciones de Portugal, en donde se hace una diferenciación entre los umbrales de pavimentos de hormigón y de asfalto, lo cual se ha demostrado que no es conveniente pues los primeros presentan durante su vida útil valores tan altos de IRI como los pavimentos asfálticos:

Tabla 3.4 Especificaciones de Portugal para el IRI inicial

TIPO DE PAVIMENTO	% de longitud con IRI (subtramo cada 100m)				
	50%	75%	80%	90%	100%
ASFALTO	1.5 m/km	---	2.5 m/km	3.0 m/km	---
HORMIGON	2.0 m/km	2.5 m/km	---	---	3.0 m/km

En Canadá se están realizando estudios para especificar valores de IRI para la recepción de pavimentos medidos con perfilómetro inercial. La siguiente Tabla muestra valores permitidos actualmente para pavimentos asfálticos:

Tabla 3.5 Especificaciones de Canadá para el IRI inicial

CAPA	% de longitud con IRI (subtramo cada 100m)		
	70%	90%	100%
SUPERFICIE	1.2	1.4	1.8

Una metodología detallada del control del IRI en las distintas capas del pavimento (capas asfálticas) muestra los resultados del proyecto piloto realizado en la Municipalidad de Dubai, en los Emiratos Árabes Unidos en el cual se desarrollaron e implementaron las especificaciones de control de regularidad durante la construcción. La metodología empleada analiza el IRI en dos longitudes base: 100 m. para evaluar la calidad de la construcción del pavimento y de 1000 m. para evaluar el comportamiento funcional de la capa final del asfalto en el largo plazo. Se controló con un valor de IRI en ambas huellas de la pista de 1,2 m/km para las capas de asfalto finales y de 1,3 m/km para las capas intermedias. Además, dos de las lecturas de 100 m. de la sección (1000 m) podían exceder los valores mencionados anteriormente, 1,35 m/km en la capa final del pavimento y 1,5 m/km en las otras capas. Ninguna lectura podía ser mayor que 1,6 m/km. Esto se controlaba en cada capa, no se procedía a construir la siguiente capa hasta que se cumplieran las especificaciones. Una vez que se evaluaron todas las capas se calculó el IRI en 1000 m y se comparó con los límites de la siguiente tabla:

Tabla 3.6 Municipalidad de Dubai - Especificaciones de IRI

Clase de Via	IRI promedio en 1000 m	
	Inicial	Terminal
Autopistas / Vías Expresas (Urbanas)	0.9 +/- 0.05	3.2
Autopistas / Vías Expresas (Rurales)	1.0 +/- 0.05	2.8
Vías Arteriales	1.0 +/- 0.05	3.2
Vías Colectoras	1.2 +/- 0.05	3.8
Vías Locales	1.5 +/- 0.05	3.8
Áreas Industriales (todas las clases)	1.5 +/- 0.05	4.5

Con esta metodología de trabajo los constructores obtienen resultados rápidos de las operaciones de pavimentación.

Este trabajo se basa en los resultados obtenidos de una investigación preliminar en donde se evaluó la influencia de valores iniciales de IRI en el comportamiento del pavimento en el largo plazo. Valores iniciales elevados de IRI ocasionan mayores deterioros en el tiempo, mayor costo de mantenimiento, una vida útil de servicio inadecuada y rehabilitaciones o reconstrucciones a temprana edad del pavimento. Aún solucionándose los deterioros iniciales, el pavimento siempre presentará fallas funcionales en el tiempo más graves que aquel pavimento que inició su vida útil con un valor de IRI menor.

CAPITULO IV: ENSAYOS DE CONTROL Y MONITOREO EN CARRETERAS. RESULTADOS OBTENIDOS

Como se mencionó en el capítulo anterior, una medida para determinar la capacidad estructural y la deformabilidad es mediante el ensayo no destructivo, con un aparato denominado Viga Benkelman.

En el presente capítulo se presenta primeramente una descripción general de la teoría que sustenta el ensayo y luego se describe el ensayo en sí, para posteriormente mostrar los resultados obtenidos en el tramo de prueba.

4.1 FUNDAMENTO TEORICO DEL ENSAYO CON LA VIGA BENKELMAN

4.1.1 DEFLECTOMETRÍA

Es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de un pavimento, debido a la acción de una dinámica o estática, las cuales provocan fallas estructurales que dependen de la magnitud y frecuencia de las deformaciones recuperables y de la acumulación de las deformaciones permanentes en la estructura.

Así que la deflexión de un pavimento es un indicador del comportamiento de la estructura pavimento – subrasante, frente a una determinada carga.

La determinación de la capacidad estructural por este método cumple en el diseño de refuerzos un rol en cierta forma semejante a la determinación del C.B.R. de suelos de subrasante en el diseño de estructuras nuevas.

La utilización de la Viga Benkelman sirve básicamente a la determinación de:

- Determinación la vida útil remanente de un pavimento.
- Evaluar estructuralmente pavimentos, analizando todas las condiciones localizadas, como drenaje, calidad de los materiales, espesores de diseño anteriores, etc.
- Evaluar los métodos de diseño de pavimentos y control de ejecución de obras.
- Determinar las condiciones de un pavimento con miras a su conservación.
- En determinadas regiones, seleccionar la carga por rueda permitida en periodos críticos (generalmente deshielo).

Cabe mencionar que, en los métodos como el CONREVIAL (Consortio de Rehabilitación Vial) se relacionan los valores de las deflexiones con valores admisibles, mientras que en los métodos modernos, basados en la Teoría de la Elasticidad, las deflexiones se utilizan para ajustar Módulos Elásticos de las capas estructurales y calibrar los modelos.

4.1.2 LA VIGA BENKELMAN

La Viga Benkelman es un aparato mecánico que mide los desplazamientos de un punta de contacto entre las ruedas de un camión, bajo el eje de carga, con una determinada presión de inflado en los neumáticos y una carga por eje, la cual provoca una flecha máxima en la línea de deformación.

Este aparato está conformado por una palanca, que pivota alrededor de un eje horizontal, situado en un punto fijo, que divide la palanca en dos brazos desiguales, generalmente uno es el doble del otro.

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento de diseño simple. Según se esquematiza en la figura 4.1, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E"). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante.

El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro. La

operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes (Ver figura 4.1b).



Fig 4.1 Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman

La Viga Benkelman es un equipo que está conformado por:

a) Una Viga Benkelman con su respectivo flexímetro (0.0001 pulgadas); y las siguientes dimensiones fundamentales:

- Longitud del brazo de ensayo, desde el pivote a la punta de prueba es 2.438 metros.
- Longitud del brazo de ensayo, desde el pivote al punto de apoyo del vástago del dial registrador es 1.219 metros

b) Un camión para el ensayo con las siguientes características:

- El eje grasero transmitirá una carga de 18.000 libras, igualmente distribuidas en sus dos medas duales
- La presión de inflado de las llantas deberá ser de 5.6 kilogramos por centímetro cuadrado (80 libras por pulgada cuadrada)

c) Un medidor de presión de la llanta

d) Un termómetro de 0 a 1000C con divisiones cada grado

e) Un barreno par a ejecutar orificios en el pavimento de 4 cm de profundidad y 1 de diámetro.

f) Una cinta métrica de 2 a 25 metros.

4.1.3 ANÁLISIS DE LA DEFLEXIÓN Y RADIO DE CURVATURA

La deflexión debido a una carga (estática y/o móvil) es parte del comportamiento elástico del suelo, que desaparece cuando se retira la carga, a diferencia de los esfuerzos plásticos que son permanentes y acumulativos, provocando en un futuro una falla por corte, reflejada en los ahuellamientos.

Por lo antes mencionado es importante distinguir los siguientes conceptos.

- Deflexión total (dt), es la deformación total producida por la carga desde la superficie original del pavimento antes de aplicar la carga.
- Deflexión recuperable (dr) es la deflexión que recupera el pavimento después de retirada la carga que es menor a la deflexión total.
- Deflexión permanente o residual (dp), es la diferencia entre la deflexión total y deflexión recuperable.

La más importante en la estructura del pavimento es la deflexión recuperable, debido a la elasticidad instantánea retardada.

La magnitud de la deflexión recuperable depende de variables tales como: espesores de las capas que conforman el pavimento, rigidez de la subrasante, rigidez de cada capa con relación a la capa inferior, condiciones de drenaje y la más importante la capacidad de la subrasante ya que es en ésta donde generalmente se produce la mayor parte de la deformación.

La deflexión es un dato indicativo de la situación estructura] suelo-pavimento, pero contamos con otro parámetro, denominado "Radio de Curvatura", que tiene una relación directa con la deflexión. Para determinada deflexión, la deformación por tracción en las capas asfálticas depende de su espesor y de dicho Radio de Curvatura.

Después de haber analizado muchos ensayos se llegó a la conclusión que la deflexión máxima depende en gran medida del módulo de elasticidad y del tipo de material que conforma la subrasante y el Radio de Curvatura depende de los módulos de elasticidad de las capas superiores, tales como base, sub-base y carpeta asfáltica.

Teniendo en consideración el espesor de la carpeta asfáltica, se presentan dos casos, muy bien definidos:

- Si tenemos grandes Radios de Curvatura con relación a la deflexión, lo interpretaremos como que la mayor parte de la deformación se produce en la subrasante.
- Si la carpeta asfáltica, base o sub-base están conformados por materiales de deficiente calidad, la mayor parte de la deformación se producirá en la estructura del pavimento y por consiguiente obtendremos pequeños Radios de Curvatura.

Por lo antes mencionado deducimos que el Radio de Curvatura es una característica fundamental para determinar la magnitud de la deformación lineal por tracción, que sufren las capas del pavimento al aplicar una carga puntual o móvil.

Las primeras propuestas para determinar el Radio de Curvatura relacionan la deflexión máxima con el diámetro del área superficial deformada (índice de curvatura), lo que resulta poco práctico porque es difícil determinar donde la línea de deflexión es tangencial a la horizontal.

Se propusieron otros puntos, pero la más rigurosa sería la de medir la línea de deflexión completa, basándose en una gran cantidad de puntos de deflexión en la deformada y determinar en la curva el círculo que mejor se adapta, cuyo radio se denomina Radio Curvatura.

Actualmente el Radio de Curvatura se determina con la ayuda de una auxiliar a 25 centímetros del eje de máxima deformación y con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{10 * (25)^2}{2 * (D_0 - D_{25})} \quad \text{Ec (4 1)}$$

Donde:

- R : Radio de Curvatura en metros
- D_0 : Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésima de mm.
- D_{25} : Deflexión recuperable a 25 centímetros del eje
- 10 : Coeficiente de cambio de unidades

Es de esta manera que con la deflexión máxima y la deflexión a 25 centímetros del eje se determina el Radio de Curvatura.

En relación, producto Deflexión y Radio de Curvatura, no hay muchas referencias en cuanto al significado de este valor, tan solo que dicho producto, para el caso de un pavimento flexible debe encontrarse ente 5000 y 15000 y aproximarse a extremo superior cuando la rigidez relativa entre pavimento y subrasante aumenta y/o el espesor del pavimento crece, como seria el caso de un pavimento Rígido.

En el Perú, con calzadas tradicionales con bases granulares y revestimientos asfálticos delgados, se observa que la debilidad creciente de las mismas se refleja en mayores deflexiones acompañados de menores radios de curvatura.

En épocas de lluvia, cuando la subrasante se humedece, la mayor parte de carga la absorben las capas superiores, lo que se traduce en mayores deflexiones y menores radios de curvatura

Cuando se cumple la condición de rigidez creciente n profundidad, característica de los pavimentos flexibles, la deflexión afectará a la estructura en conjunto y a su fundación (subrasante)

Si por el contrario debajo de las capas asfálticas existe un espesor de capa base que por deficiencias constructivas o degradación del material de la misma, presenta menor rigidez que el resto, el radio de curvatura será pequeño y la deflexión puede no ser representativa como característica del pavimento original, pero su aporte se observará en un marcado aumento del radió de curvatura.

En resumen, tanto la Deflexión como el Radio de Curvatura dependen de las características del pavimento (material espe ores, fisuraciones en la superficie, ahuellamientos, condiciones de drenaje, sección en corte o relleno u otros como peladuras, desintegraciones o exudaciones del asfalto), así como de la capacidad de soporte de la subrasante.

4.1.4 CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

Antes de indicar la corrección por temperatura, se debe indicar que en la presente investigación el pavimento es no rev stido por lo que no se realiza esta corrección, sin embargo, en los pavimentos a faltados, es de vital importante tomar en cuenta la temperatura de la carpeta asfáltica al momento de realizar la prueba, ya que ésta tiene una influencia directa sobre las Deflexiones registradas.

Otros factores que influyen en la temperatura del pavimento son la temperatura del aire, el grado de insolación, radiación, lluvia, viento y la profundidad a la que

se registra la temperatura, cuanto mayor es la profundidad mayor es el tiempo necesario para llegar a la temperatura real del pavimento, generalmente se considera a 4 centímetros de la superficie.

A mayores temperaturas la rigidez de las mezclas asfálticas disminuirá, por lo que el mayor de la Deflexión dependerá del espesor y rigidez de capas subyacentes.

Para tal situación se lleva a cabo una corrección por temperatura, llevando las deflexiones de cualquier temperatura a una estándar de 20°C, para poder realizar comparaciones entre diferentes tramos, mediante la siguiente fórmula:

$$D_{20} = \frac{D_t}{1 * 10^{-5} * \frac{1}{cm^{\circ}C} * (t - 20^{\circ}C) + 1} \quad \text{Ec (4 2)}$$

Donde:

- Dt : Deflexión en centésimas de milímetros a una temperatura t.
D₂₀ : Deflexión recuperable a temperatura estándar de 20°C
e : Espesor de la carpeta asfáltica en centímetros.

4.1.5 DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA

Es importante realizar un análisis estadístico de los datos de campo y finalmente trabajar con un único valor para el diseño. Para tal fin se determina la Deflexión Promedio (D_p), Desviación Estándar (σ), Coeficiente de Variación y el dato más importante, la Deflexión Característica.

Para cuestiones de diseño se considera la Deflexión Característica, valor que mejor una determinada sección y se obtiene de la siguiente fórmula:

$$D_c = D_p + t * \sigma \quad \text{Ec (4 3)}$$

Para la presente investigación, no se desea realizar el diseño del pavimento, únicamente evaluar la deflexión y el Radio de Curvatura, pero por cuestiones aplicativas se determinará la Deflexión Característica, tomando como percentil el 50%, lo que indicará que el 50% del área estará infradiseñada.

Según lo antes mencionado, la conclusión será:

$$D_c = D_p \quad \text{Ec (4 4)}$$

4.1.6 DEFLEXIÓN ADMISIBLE

Para determinar la relación entre deflexión y la condición del pavimento, Ruiz propone un criterio de deflexión admisible (valor tentativo) definido por la ecuación:

$$N = \frac{1.15}{D_{ca}^4} \quad \text{Ec (4.5)}$$

Donde:

- N : Número de ejes estándar equivalente de 8.2 toneladas acumulados
D_{ca} : Deflexión características admisible (mm)

Entonces para:

- N : 1.01*10⁶
D_{ca} : 1.03 mm

La metodología del T.R.R.L. y Notario propone también una Deflexión crítica, diseñada como aquella que alcanza el pavimento al término del periodo de servicio, luego de soportar el tránsito proyectado. La siguiente es la fórmula para determinar la Deflexión crítica:

$$N = \frac{1.90}{D_{cr}^{4.3}} \quad \text{Ec (4.6)}$$

Donde:

- N : Número de ejes estándar equivalente de 8.2 toneladas acumulados.
D_{cr} : Deflexión característica del pavimento al llegar a su condición crítica, al término de la vida útil (mm)

Entonces para:

- N : 1.01*10⁶
D_{cr} : 1.13 mm

Es importante determinar este valor, ya que cuando el pavimento llegue a esta fase, el deterioro aumentará rápidamente y requerirá una mayor inversión para su rehabilitación.

La tabla N° 4.1 muestra un análisis de la deflexión, estado visual y concluye con estado estructural del pavimento.

4.1.7 ANÁLISIS SOBRE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL

Básicamente, para determinar la capacidad estructural del pavimento se realiza la combinación de tres factores fundamentales:

- La apariencia de la superficie en relación a la observación de fallas (de carácter estructural generalmente) de acuerdo a los resultados de la inspección visual.
- La deflexión recuperable del pavimento, como parámetro indicativo de la respuesta mecánica del mismo, complementado con el radio de curvatura.
- La estructura del pavimento determinada en base a los sondeos y antecedentes disponibles, que implica una compleja relación entre espesores y calidad de las capas del pavimento, calidad del suelo de subrasante, drenaje, etc. y que se resume en que si la misma responde a un diseño estructural adecuado o no.

Se han distinguido casos en los que se puede evaluar y diseñar los pavimentos. En el Perú, producto de la experiencia se ha introducido ligeras modificaciones y se presentan los siguientes casos, resumidos en el Cuadro N° 4.1.

PRIMER CASO

La deflexión característica (D_c) es superior a la tolerable para el tránsito actual o futuro previsto y por no presentar fallas estructurales generalizadas. Se trata de pavimentos infradiseñados que requieren urgente un refuerzo estructural para soportar el tránsito futuro, para que no se deteriore más la capacidad estructural del pavimento.

Se debe realizar perforaciones en lugares representativos para observar los espesores, naturaleza y estado de las capas del pavimento, para poder calificar como una situación de infradiseño y comparar la estructural actual con los métodos de diseño racionales modernos.

Debe prestarse especial atención a la capa de base que se encuentra inmediatamente después de la carpeta asfáltica y que no se encuentra degradada como capa y/o con elevado contenido de humedad. Esta es la forma de evaluar la situación estructural del pavimento de manera desactiva, otro método es por medio de la Viga Benkelman, cuyos valores de deflexión nos permitirán encontrar reducidos valores de radios de curvatura en relación con la deflexión, llegando a la misma conclusión.

Otras circunstancias, tales como problemas de drenaje, puede ser la causa de elevadas deflexiones, en tal situación se debe eliminar el problema causante de esta situación y luego proceder a realizar la deflectometría.

SEGUNDO CASO

La diferencia con el primer caso es la generalización del desarrollo de fallas estructurales, que obedecen a causas ajenas a un espesor de base débil o degradado debajo de la capa asfáltica.

Nos encontramos en la etapa como consecuencia de no haber tomado las medidas necesarias en el PRIMER CASO.

Para el cálculo del refuerzo se utilizan las deflexiones generadas en la deformada, pero para valores extremadamente altos debe analizarse mejor, debido a:

- Es difícil estimar la reducción de la deflexión debido al incremento de un refuerzo en la carpeta asfáltica.
- Utilizar el concreto asfáltico como único material de refuerzo resulta antieconómico.

Es por estas razones que se recomienda verificar el refuerzo calculado por medio de métodos racionales

TERCER CASO

Se caracteriza por la presencia de una capa de agregado débil debajo de la carpeta asfáltica, que determina que sea la carpeta la que absorba la mayor parte de la carga ya que no encuentra refuerzo en la capa de agregado.

Entonces la deformación por tracción debido a las cargas, radio de curvatura de la línea de deflexión y los espesores de las capas que conforman el pavimento son los factores que determinan las fallas por fatiga (agrietamiento, fisuras tipo

piel de cocodrilo), es lógico afirmar entonces que cuando la curvatura es bastante marcada se alcancen valores críticos de deformación, que por repetición llevan al fisuramiento. En este caso los radios de curvatura de la línea de deflexión son reducidos y el desarrollo de fisuramiento es posible aún con deflexiones tolerables.

En algunos casos donde encuentra un pavimento cuya estructura está deteriorada en su totalidad, las deflexiones obtenidas serán elevadas y los radios de curvatura reducidos en relación con las deflexiones, entonces la conclusión será que las capas de base y subbase no proporcionan el apoyo necesario y suficiente a la carpeta asfáltica.

La solución dependerá básicamente de ubicar la capa que está fallando por degradación o cualquier otro problema y neutralizar el efecto negativo mediante la construcción parcial o total de ella. Se recomienda realizar el diseño utilizado para pavimentos nuevos y la evaluación económica respectiva.

CUARTO CASO

En el Perú es poco probable que se presente este caso, por el momento, ya fue se trata generalmente de pavimentos reforzados con grandes espesores de carpeta Asfáltica que evitan fallas por fatiga, pero que no compensan la debilidad de la subrasante, por lo que generalmente se producen deformaciones permanentes que afectan a toda la estructura, en forma de asentamientos en las huellas de la rueda.

QUINTO CASO

Es la condición óptima del pavimento, donde no se observa signos de degradación estructural, las deflexiones son inferiores a la tolerable y la estructura del pavimento está bien diseñada. Los parámetros resultan concurrentes, la capacidad estructural del pavimento es satisfactoria por lo que la rehabilitación se limitará a una corrección de las deficiencias superficiales que se observen en la superficie de rodadura.

Tabla 4.1
EVALUACION DEL ESTADO DE LA VIA

Deflectometría	Estado Visual	Estado Estructural	Recomendación
La Deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de Curvatura son elevados o aceptables (con relación a la estructura).	No hay fallas de origen estructural	Estructura infradiseñada, pero la capacidad portante de las capas decrece con la profanidad (no existe capa débil) inmediatamente debajo de la capa asfáltica	PRIMER CASO Revisar fecha de las últimas obra ejecutadas para rusticar estado de pavimento.
	Hay fallas de origen estructural generalizado.		SEGUNDO CASO Las deflexiones pueden ser utilizadas para diseñar el refuerzo. Para deflexiones muy altas analizan económicamente la reconstrucción verificar el diseño con métodos de diseños modernos.
La Deflexión característica es superior a la admisible. Los Radios de Curvatura son menores (aun para deflexiones reducidas).		Existe una capa débil inmediatamente debajo de la capa asfáltica (relación de los módulos de elasticidad menor que 1)	TERCER CASO Se tiene que neutralizar el efecto negativo de la capa de material deficiente, ya sea por reconstrucción parcial o por refuerzo. No se recomienda usar la deflexión para el diseño puede no ser representativa.
La Deflexión característica es inferior a la admisible. Los radios de Curvatura son reducidos.	Hay fallas de origen estructural por fatiga (fisura tipo piel de cocodrilo).	Existe una capa débil inmediatamente debajo de la capa asfáltica.	TERCER CASO Neutralizar la capa deficiente (reconstrucción o refuerzo). de ninguna manera se recomienda usar la deflexión para el diseño.
La Deflexión característica es inferior a la admisible.	Hay fallas de origen estructural Deformaciones permanentes de la fundación.	Estructura degradada no adecuada para la fundación.	CUARTO CASO Evaluar aporte estructural de la calzada existente. La deflexión no es representativa.
	No hay fallas de origen estructural.	Estructura bien diseñada.	QUINTO CASO Corregir fallas superficiales y mejora superficial.

Fuente TESIS UNI-FIC Refuerzo y Separación de Suelos con Geotextiles en Pavimentos Yadira Enriquez Minaya Año 2.000

4.2 PROCEDIMIENTO EN EL CAMPO

La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 9000 libras (4090 kg), y es proporcionada por una de las llantas dobles del eje trasero de un camión. Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumpla esta condición, así como que la presión de las llantas sea la requerida.

Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo (usualmente los puntos de medición se localizan en la mitad exterior de un carril), se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que este coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto (ver figura 4.2a, punto "D").

Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que esto último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: Se coloca la Viga en la posición como si estuviera entre las llantas pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir, empleando una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión (ver figura 4.2b), se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.

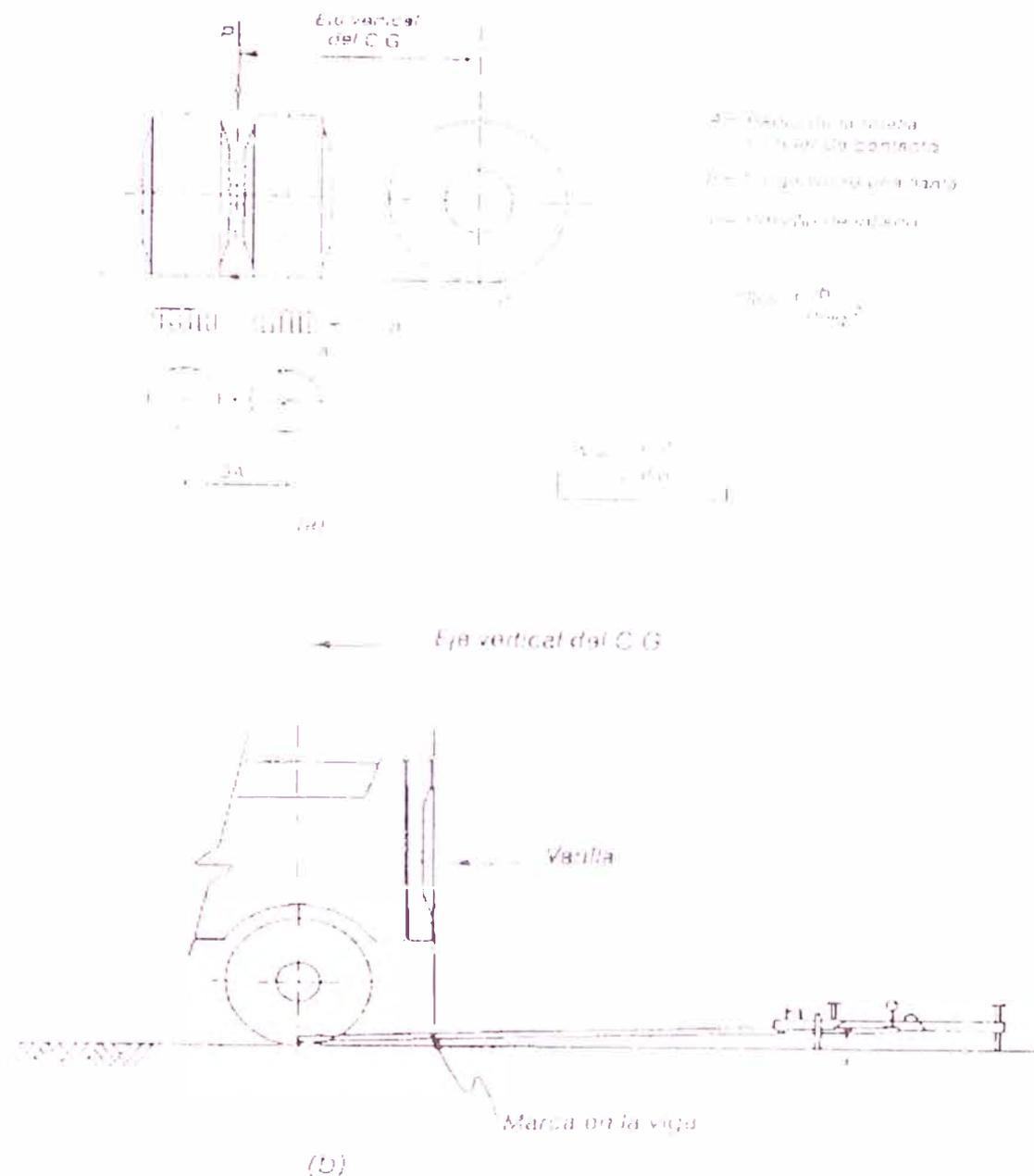
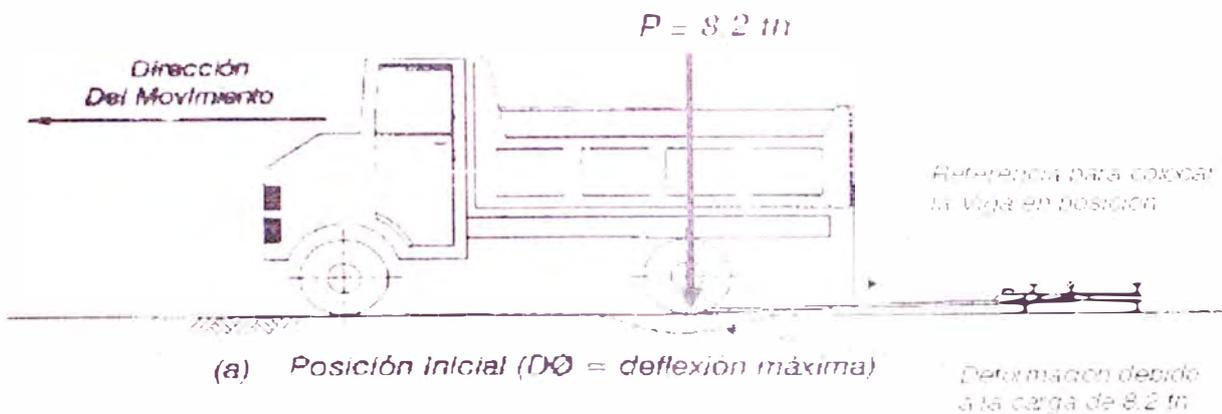


Fig. 4.2 Configuración geométrica del sistema de carga de Ensayos con la Viga Benkelman

De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desea medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 50 cm). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea gráfica del tipo de curvas de deflexiones que se producen.

Como norma se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial). La segunda marca adicional se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional. Estas dos distancias se determinarán específicamente para cada proyecto de evaluación que se emprenda. Esto deberá hacerse por medio de tanteos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos. Es común que se observen variaciones durante la realización de los ensayos, pero no deberá hacerse modificaciones mientras que las deflexiones tomadas en la primera marca adicional estén en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.



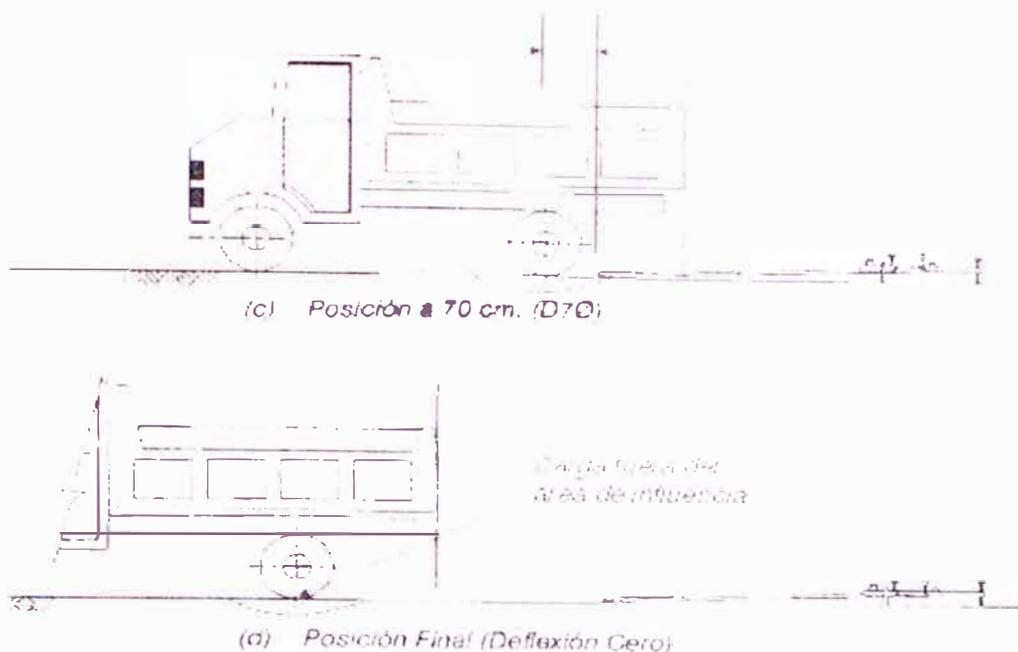


Fig. 4.3 Esquematación del proceso de medición con la Viga Benkelman

Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la cadena vertical y la marca inicial (ver figura 4.3a), se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se pondrá el dial del extensómetro en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y segunda marcas adicionales (figuras 4.3b,c) y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5.00 m.), registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

Para la realización de esta rutina será necesario del concurso de tres operadores: Un técnico calificado que efectúe las lecturas, un operador que registre las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y el técnico, cuando la varilla adosada al camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga. Todo el trabajo deberá ser supervisado permanentemente por un ingeniero de campo quien verificará los valores que se vayan obteniendo así como tomará anotación de cualquier factor que a su juicio pueda explicar los resultados que se obtengan (corte, relleno, tipo de material, presencia de alcantarillas, napa freática, estado del pavimento, etc.).

4.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Para determinar la capacidad estructural del tramo de prueba realizado en la UNI, se efectuó la evaluación de la capacidad estructural con la Viga Benkelman. La viga Benkelman empleada es de propiedad del laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI y presenta las siguientes características técnicas:

- Modelo HT300. 2205 LEE ST ILL EVANSTON USA.
- Serie N° 45.

Previo al ensayo se verifico los componentes del mismo, como son peso y presión de inflado de las llantas del camión. Una vez en el lugar del ensayo se procedió al marcado de las estaciones de medición y acondicionamiento de los implementos para efectuar posteriormente el ensayo.



Fig. 4.4 Realizando el marcado de las estaciones de medición.



Fig. 4.5 Preparando los implementos para el ensayo.

Una vez que todos los implementos se ajustaron se procedió a realizar el ensayo. En figura siguiente se observa la ejecución del ensayo:



Fig. 4.6 Ejecución del ensayo.

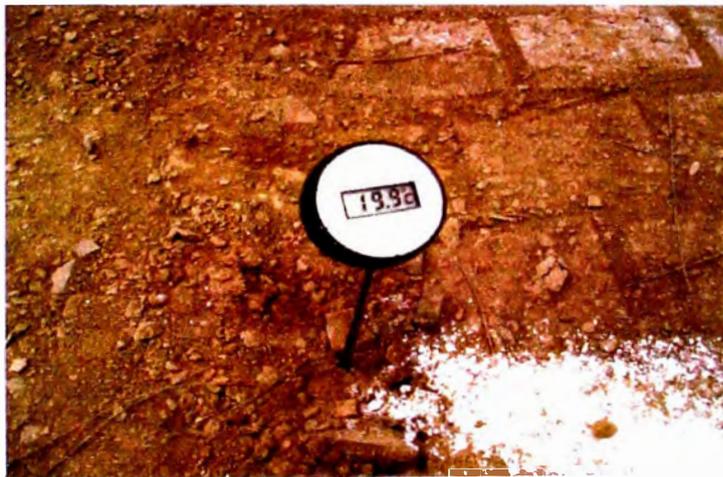


Fig. 4.7 Control de la temperatura del pavimento.

Una vez que se realizó el ensayo se procedió a procesar la información obtenida en campo. Para esto se empleó el modelo de Hogg. En la tabla 4.2 siguiente se muestra los datos obtenidos en campo y la deflexión característica determinada

Tabla 4.2 Análisis elástico con el Modelo de Hogg – Viga Benkelman

Datos de Ensayo de Campo

N°	Progr. (km)	Lado	Deflexiones (0.01 mm.)			
			D ₀	D ₂₅	D ₅₀	D ₇₅
1	3.6	LD	114	74	38	18
2	5.6	LD	118	93	37	12
3	7.9	LD	114	68	58	17
4						
5	3	LD	145	125	84	39
6	5.3	LD	107	81	51	25
7	7.3	LD	132	102	66	30

Parametros de Evaluación

DR/D ₀	R5	L0	So/S	E0	HE	D ₀	E*	E*/E0	CBR (%)
(cm)	(cm)	(cm)		(kg/cm ²)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)		

0.333	35.5	17.3	0.8	398.0	44.5	0.1	626.2	1.6	3.6
0.313	34.0	16.4	0.7	397.2	43.2	0.1	571.1	1.4	3.6
0.509	51.0	27.0	0.9	290.8	56.0	0.1	911.3	3.1	2.6
0.580	59.7	32.3	0.9	196.7	63.2	0.1	885.4	4.5	1.8
0.476	47.5	24.8	0.8	331.2	53.6	0.1	910.4	2.7	3.0
0.500	50.0	26.4	0.9	255.1	55.3	0.1	769.0	3.0	2.3

Promedio	121.8	90.4	55.7	23.5	0.5	46.3	24.0	0.8	311.5	52.6	0.1214	778.9	2.7	2.8
Deflexion Caracteristica	122.0	90.8	56.0	23.7	0.1	9.9	6.1	0.1	80.0	7.6	0.0142	150.2	1.1	0.7
Desv. Estandar	14.3	20.9	18.0	9.9	23.4	21.3	25.4	7.3	25.7	14.4	11.7403	19.3	41.3	25.7
Coef. Variacion	11.7	23.1	32.2	42.1	0.6	59.7	32.3	0.9	398.0	63.2	0.1444	911.3	4.5	3.6
Máximo	145.3	125.0	84.3	38.6	0.3	34.0	16.4	0.7	196.7	43.2	0.1057	571.1	1.4	1.8
Mínimo	106.7	68.1	37.1	11.7										

De acuerdo a la tabla 4.2 de procesamiento de información se observa que la deflexión característica esta dentro los valores admisibles considerados para el presente tramo de prueba, además se debe indicar que los ahuellamientos obtenidos varían entre 2 mm y 5 mm lo cual no ocurrió con el pavimento reforzado con geoweb (grupo 6) en el cual los ahuellamientos varían entre 35 mm y 48 mm.



Fig. 4.8 Estado del pavimento reforzado con geotextil una vez culminada la prueba.



Fig. 4.9 Estado del pavimento reforzado con geoweb una vez culminada la prueba

CONCLUSIONES

- Los materiales poliméricos denominados polipropileno y poliéster son los más requeridos para la fabricación de geotextiles.
- En vías, cuando el CBR de la subrasante es menor a 10% se debe recurrir al uso de los geosintéticos llamados geotextiles, para la construcción de las carreteras ya que permite trabajar sobre el terreno natural, obviando los procedimientos tradicionales de mejoramiento que eleva el costo de la obra, requiere mayor empleo de mano de obra, mayor tiempo de ejecución, eleva el volumen del material a eliminar así como el aumento de volumen de explotación de material de préstamo a utilizar.
- Cuando la subrasante de un suelo presenta un $CBR < 3\%$ ya se debe emplear el geotextil tejido como elemento de refuerzo en vías, ya que en dicho valor de CBR empieza la deformación de la subrasante y el geotextil actúa básicamente en su propiedad de tracción y por tanto empieza a cumplir la función de refuerzo.
- Se determinó una metodología para disminuir el CBR de un suelo, que en el presente trabajo experimental el suelo del campus del Laboratorio Nacional de Hidráulica presenta un $CBR > 25\%$ y mediante la metodología encontrada se pudo llegar a un $CBR = 0.7\%$.
- En el caso de la vía experimental no pavimentada, se determinó en el diseño que el espesor de la base sin el empleo del geotextil fue de 0.85m y empleando el geotextil tejido TR 4000 como refuerzo, el espesor del pavimento fue de 0.65m.
- Se realizó la prueba de la compactación empleando el cono de arena, que para la primera capa de material granular colocado se obtuvo el 82% y 85% de grado de compactación. Se debe limitar el grado de compactación al 87% para la primera capa (15cm de espesor) debido a la inestabilidad que presenta la estructura, teniendo en cuenta que la subrasante tiene un $CBR = 0.7\%$.
- Se determinó que la última capa de material granular colocado presenta un grado de compactación de 95%, obtenido empleando el equipo del cono de arena.

- Se realizó el Ensayo No Destructivo empleando la Viga Benkelman mediante el cual se determinó que la deflexión característica que presenta el pavimento se encuentran dentro de los valores de deflexión máximos y mínimos requeridos de acuerdo a las condiciones de diseño, con lo cual se concluye un adecuado comportamiento del pavimento reforzado con geotextil tejido.
- Se tomaron cuatro datos en cada prueba con la Viga Benkelman, a 0.00m, 0.25m, 0.50m y 0.75m; encontrándose que la deflexión característica aumenta a medida que avanza el vehículo de prueba.
- Los ahuellamientos observados se encuentran entre 2 y 5mm; teniendo de esta manera adecuado comportamiento del tramo experimental.
- En el proceso constructivo de la vía experimental empleando geotextil tejido como elemento de refuerzo, se observó que al colocar la primera capa de material granular (15cm), sobre un suelo de subrasante de CBR=0.7%, no es posible compactarlo con equipo mecánico debido a la inestabilidad que presenta dicha subrasante, en este caso se compactó la primera capa de material granular empleando un pisón manual hasta obtener una consistencia adecuada y posteriormente se continuó colocando otra capa de 15cm, sobre la cual si fue posible la compactación empleando equipo mecánico (plancha compactadora) el cual ejerció una presión de 2 toneladas sobre el material granular conformado.

RECOMENDACIONES

- Como se mencionó en la descripción de los trabajos realizados en la construcción de la vía experimental, para evitar la pérdida de agua se empleó plástico simple para impermeabilizar las paredes y el fondo de la poza de prueba. Es recomendable revestir las paredes y el fondo de la poza con concreto o mortero de cemento y impermeabilizar la misma mediante el empleo de la geomembrana para de esta manera evitar la pérdida de la humedad.
- 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.
- Aunque en el presente trabajo no se realizó, se debe realizar el diseño del sistema de drenaje de la vía y evaluar el comportamiento del conjunto, es decir estructura del pavimento y sistema de drenaje.

BIBLIOGRAFIA

- De Solminihaç T. Hernan – Cabrera Cristian T – Bengoa Elva Evaluación de la Capacidad Estructural y Funcional del Pavimento durante el proceso de Construcción. Chile Año 2.003.
- Enriquez Minaya Yadira Refuerzo y Separación de Suelos con Geotextiles en Pavimentos. Tesis UNI-FIC Año 2.000.
- Koerner, Robert M. Designing With Geosynthetics Traducción IGS-PERU. Año 2.002.
- MTC. Manual de Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Transito. Octubre del 2,005.
- Pavco-Amanco. Manual de Diseño Séptima Edición. Octubre del 2,006.
- Sologorre José Evaluación de la Rugosidad de Pavimentos con Uso del Bump Integrator. Tesis UNI-FIC Año 2.002

ANEXOS:

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 Ingenieria				

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

Datos de Humedad		Humedad Inicial	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado		
Wmuestra	0.95	5.31	19.56	22.22	17.61	20.08	21.03		

Datos de Densidad			Sin Saturar						
			1.70	1.70	1.69	1.69	1.65		

MATERIAL	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante		
MUESTRA		M-1	M-2	M-3	M-4	M-5			
PROFUNDIDAD	12 GOLPES	12 GOLPES "A"	12 GOLPES "B"	12 GOLPES "C"	12 GOLPES "D"	12 GOLPES "E"			
CLASIFICACION	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM		

Datos de Humedad		Humedad Inicial	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado		
Wmuestra		4.72	21.71	22.24	22.98	21.48	22.87		

Datos de Densidad			Sin Saturar						
			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 Ingeniería
	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		
W _{muestra}	8.14	17.92	19.33	19.33	22.19	25.12		

Datos de Densidad		Sin Saturar						
γ		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		
W _{muestra}	8.31	21.32	21.56	21.98	21.57	21.45		

Datos de Densidad		Sin Saturar						
γ		1.98	2.83	2.70	2.43	2.41		

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 Ingenieria									

CONTROL DE EVAPORACION DE LA SUBRASANTE

MUESTRA	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4			M - 1	M - 2	M - 3	M - 4		
FECHA	08/05/07	08/05/07	08/05/07	08/05/07			09/05/07	09/05/07	09/05/07	09/05/07		
HORA	05:00 p.m.	05:00 p.m.	05:00 p.m.	05:00 p.m.			10:00 a.m.	10:00 a.m.	10:00 a.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	25.93	26.08	25.99	29.80	26.95		24.82	26.92	22.97	20.57	23.82	
----------	-------	-------	-------	-------	-------	--	-------	-------	-------	-------	-------	--

MUESTRA	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4			M - 1	M - 2	M - 3	M - 4		
FECHA	09/05/07	09/05/07	09/05/07	09/05/07			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.			08:30 a.m.	08:30 a.m.	08:30 a.m.	08:30 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	20.17	23.88	20.23	22.15	21.61		25.77	26.17	25.51	21.01	21.62	
----------	-------	-------	-------	-------	-------	--	-------	-------	-------	-------	-------	--

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

Wmuestra	25.70	19.98	20.32	20.46	21.62		19.74	18.07	23.52	19.56	20.22	
----------	-------	-------	-------	-------	-------	--	-------	-------	-------	-------	-------	--

MUESTRA	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4			M - 1	M - 2	M - 3	M - 4		
FECHA	09/05/07	09/05/07	09/05/07	09/05/07			09/05/07	09/05/07	09/05/07	09/05/07		
HORA	12:00 a.m.	12:00 a.m.	12:00 a.m.	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	22.93	26.08	25.99	29.80	26.20		22.93	26.08	25.99	29.80	25.20	
----------	-------	-------	-------	-------	-------	--	-------	-------	-------	-------	-------	--

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 Ingenieria								

CONTROL DE EVAPORACION DE LA SUBRASANTE

MUESTRA	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	PROMEDIO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	PROMEDIO
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	05:34:00 p.m	05:34:00 p.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

Wmuestra	24.33	24.09	24.42	23.95	24.45	20.59	22.53	22.17	19.07	20.01
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

MUESTRA	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	PROMEDIO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	PROMEDIO
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

Wmuestra	25.22	23.45	22.31	23.37	23.59	22.17	22.16	22.71	23.43	22.62
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

MUESTRA	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	PROMEDIO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	PROMEDIO
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

Wmuestra	25.70	19.98	20.32	20.46	21.62	19.74	18.07	23.52	19.56	20.22
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

MUESTRA	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	PROMEDIO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	PROMEDIO
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	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	PROMEDIO

Datos de Humedad

Wmuestra	24.06	23.97	24.28	23.77	23.98	18.08	21.89	19.57	20.49	20.01
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

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

CONTROL DE EVAPORACION DE LA SUBRASANTE

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4	M-1	M-2	M-3	M-4	M-1	M-2	M-3	M-4
FECHA	08/05/07	08/05/07	08/05/07	08/05/07	09/05/07	09/05/07	09/05/07	09/05/07	09/05/07	09/05/07	09/05/07	09/05/07
HORA	05:00 p.m	05:00 p.m	05:00 p.m	05:00 p.m	10:00 a.m	10:00 a.m	10:00 a.m	10:00 a.m	2:00pm	2:00pm	2:00pm	2:00pm
CLASIFICACION	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM							

Datos de Humedad

Wmuestra	25.93	26.08	25.99	29.80	24.84	26.92	22.97	20.57	20.17	23.88	20.23	22.15
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

MUESTRA

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4	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	10/05/07	10/05/07	10/05/07	10/05/07
HORA	08:30 a.m	08:30 a.m	08:30 a.m	08:30 a.m	2:00 p.m	2:00 p.m	2:00 p.m	2:00 p.m	05:00 p.m	05:00 p.m	05:00 p.m	05:00 p.m
CLASIFICACION	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM

Datos de Humedad

Wmuestra	25.77	25.17	25.51	21.01	25.70	19.98	20.32	20.46	19.74	18.07	23.52	19.56
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

MUESTRA

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4	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	12/05/07	12/05/07	12/05/07	12/05/07
HORA	08:30 a.m	08:30 a.m	08:00 a.m	08:00 a.m	05:34 p.m	05:34 p.m	05:34 p.m	05:34 p.m	2:30 p.m	2:30 p.m	2:30 p.m	2:30 p.m
CLASIFICACION	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM							

Datos de Humedad

Wmuestra	24.33	24.36	25.17	23.95	20.59	22.53	27.17	18.07	25.77	23.15	22.11	23.37
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

MUESTRA

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4	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	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	6:00 p.m	6:00 p.m	6:00 p.m	6:00 p.m	10:00 p.m	11:00 p.m	10:00 p.m	10:00 p.m	05:00 p.m	05:00 p.m	05:00 p.m	5:00 p.m
CLASIFICACION	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM	SC-SM

Datos de Humedad

Wmuestra	22.11	22.15	22.71	23.43	24.00	23.87	24.28	23.77	18.08	21.89	19.5	23.11
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------

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 Ingenieria				

MATERIAL	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante				
MUESTRA	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_especifico	2.54									
W anillo		1.30	2.45	2.35	1.43	0.90				

Datos de Densidad

γt		1.51	1.40	1.62	1.70	1.69				
γd		1.49	1.37	1.58	1.67	1.67				
γmin										
γmax										

Datos de limites

LL	5.11									
LP	14.36									
IP	4.59									

CBR

CBR										
-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Proctor

MDS	2.079									
QCH %	15.00									

Corte directo

cohesion										
----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

γ	D	2.54	1.50							
	F		1.00							
	G		2.4							
	H		1.46							
γ	F	2.54	1.30							
	H		1.43							



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA
 AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRÁULICA



LABORATORIO GEOTECNICO

PROYECTO: Aplicación de Geotextiles en Vías Afirmadas
 SOLICITADO: Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 HECHO POR: L.F.A.N / M.H.N. FECHA: 08-05-2007

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D - 2216

MUESTRAS control de saturacion

HORA	6:00:00 p.m.			
FECHA	12/05/07			
PROFUNDIDAD (m)				
FRASCO No	341	364	328	354
1. Peso recipiente + suelo húmedo grs	98.36	101.28	96.84	98.03
2. Peso recipiente + suelo seco grs	82.75	85.08	81.21	81.77
3. Peso de agua (1) - (2) grs	15.61	16.20	15.63	16.26
4. Peso de recipiente grs	12.35	11.98	12.40	12.37
5. Peso de suelo seco (2) - (4) grs	70.40	73.10	68.81	69.40
6. Contenido de humedad (3)/(5)*100 %	22.17	22.16	22.71	23.43

MUESTRAS

HORA	10:00:00 a.m.			
FECHA	14/05/07			
PROFUNDIDAD (m)				
FRASCO No	142	349	301	352
1. Peso recipiente + suelo húmedo grs	178.94	163.22	145.19	181.47
2. Peso recipiente + suelo seco grs	146.41	133.91	118.90	148.56
3. Peso de agua (1) - (2) grs	32.53	29.31	26.29	32.91
4. Peso de recipiente grs	10.88	11.11	10.63	10.13
5. Peso de suelo seco (2) - (4) grs	135.53	122.80	108.27	138.43
6. Contenido de humedad (3)/(5)*100 %	24.00	23.87	24.28	23.77

MUESTRAS

HORA	5:00:00 p.m.			
FECHA	14/05/07			
PROFUNDIDAD (m)				
FRASCO No	351	367	133	322
1. Peso recipiente + suelo húmedo grs	115.30	115.12	126.43	108.86
2. Peso recipiente + suelo seco grs	99.27	96.37	107.37	92.26
3. Peso de agua (1) - (2) grs	16.03	18.75	19.06	16.60
4. Peso de recipiente grs	10.62	10.73	10.00	11.26
5. Peso de suelo seco (2) - (4) grs	88.65	85.64	97.37	81.00
6. Contenido de humedad (3)/(5)*100 %	18.08	21.89	19.57	20.49

Av. Tupac Amaru Puerta N° 4
 Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería
 Telf. (01) 481-1070 anexo 302 Cel: 99912987 95242586
 e-mail: lnhgco@yahoo.com
 lnhg_uni@uni.edu.pe



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



LABORATORIO GEOTECNICO

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

FECHA

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D - 2216

MUESTRAS 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

MUESTRAS

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

MUESTRAS

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



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA
AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



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
HECHO POR L.F.A.N / M.H.N

FECHA:

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 % 25.70	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



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



LABORATORIO GEOTECNICO

PROYECTO : Aplicación de Geotextiles en Vías Afirmadas
 SOLICITADO : Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN : Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 HECHO POR : 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	08/05/07			
PROFUNDIDAD (m)				
FRASCO No	371	33	333	335
1. Peso recipiente + suelo húmedo	114.55	137.97	134.45	87.53
2. Peso recipiente + suelo seco	93.39	112.86	109.08	70.09
3. Peso de agua (1) - (2)	21.16	25.11	25.37	17.44
4. Peso de recipiente	11.78	16.59	11.45	11.56
5. Peso de suelo seco (2) - (4)	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	124.35	114.68	121.78	127.16
2. Peso recipiente + suelo seco	102.06	92.67	101.31	107.60
3. Peso de agua (1) - (2)	22.29	22.01	20.47	19.56
4. Peso de recipiente	12.33	10.91	12.18	12.49
5. Peso de suelo seco (2) - (4)	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	175.76	171.21	153.69	151.15
2. Peso recipiente + suelo seco	149.58	140.66	129.90	125.87
3. Peso de agua (1) - (2)	27.18	30.55	23.79	25.28
4. Peso de recipiente	14.82	12.72	12.32	11.75
5. Peso de suelo seco (2) - (4)	134.76	127.94	117.58	114.12
6. Contenido de humedad (3)/(5)*100 %	20.17	23.88	20.23	22.15



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



LABORATORIO GEOTECNICO

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

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D - 2216

MUESTRAS control de saturacion

HORA	06:30:00 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 % 25.70	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



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



LABORATORIO GEOTECNICO

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

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D - 2216

MUESTRAS	control de saturacion
-----------------	-----------------------

HORA	9:20:00 a.m.			
FECHA	15/05/07			
PROFUNDIDAD (m)				
FRASCO No	150	98	35	357
1. Peso recipiente + suelo húmedo	156.11	199.43	194.47	180.29
2. Peso recipiente + suelo seco	131.83	163.64	160.81	149.04
3. Peso de agua (1) - (2)	24.28	35.79	33.66	31.25
4. Peso de recipiente	10.87	12.32	12.72	12.41
5. Peso de suelo seco (2) - (4)	120.96	151.32	148.09	136.63
6. Contenido de humedad (3)/(5)*100 %	20.07	23.65	22.73	22.87

MUESTRAS	
-----------------	--

HORA	9:20 a.m.			
FECHA	15/05/07			
PROFUNDIDAD (m)				
FRASCO No	150	98	35	357
1. Peso recipiente + suelo húmedo	156.11	199.43	194.47	180.29
2. Peso recipiente + suelo seco	131.83	163.64	160.81	149.04
3. Peso de agua (1) - (2)	24.28	35.79	33.66	31.25
4. Peso de recipiente	10.87	12.32	12.72	12.41
5. Peso de suelo seco (2) - (4)	120.96	151.32	148.09	136.63
6. Contenido de humedad (3)/(5)*100 %	20.07	23.65	22.73	22.87

MUESTRAS	
-----------------	--

HORA	2:00 p.m.			
FECHA	15/05/07			
PROFUNDIDAD (m)				
FRASCO No	384	10	34	327
1. Peso recipiente + suelo húmedo	120.27	157.51	163.65	154.39
2. Peso recipiente + suelo seco	103.07	134.41	139.94	131.95
3. Peso de agua (1) - (2)	17.20	23.10	23.71	22.44
4. Peso de recipiente	10.44	13.43	13.64	11.49
5. Peso de suelo seco (2) - (4)	92.63	120.98	126.30	120.46
6. Contenido de humedad (3)/(5)*100 %	18.57	19.09	18.77	18.63

Av. Tupac Amaru Puerta N° 4
 Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería
 Telf: (01) 481-1070 anexo 302 Cel: 99912957 95242595
 e-mail: lnhgeo@yahoo.com
lnh.unli.edu.pe

ENSAYO DE COMPACTACION Y VALOR RELATIVO DE C.B.R.

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD					COMPACTACION - CBR					
Numero de Capas : 5					Numero de Capas : 5					
Metodo de Compactación: "A" ASTM D - 1557 - 78					ASTM D - 1883 - 87					
	897 23		897 23		1963 18		2021 90		1960 30	
Nº Golpes	25	25	25	25	12	17	25			
Nº Molde (gr)	8	8	8	8	1	2	3			
Máxima (gr)	3672	3880	4026	4028	7094	7410	7554			
Molde (gr)	1746	1746	1746	1746	3412	3532	3542			
Capacidad (gr)	1926	2134	2280	2282	3592	3778	4012			
Moistura	311	374	333	376	348	352	142	373		
Capacidad de agua (gr)	111.39	104.43	86.50	93.60	110.70	107.50	129.50	105.60		
Capacidad de agua (porcentaje)	129.10	101.70	82.10	88.90	102.20	99.40	118.90	97.70		
Capacidad de agua (gr)	3.29	2.70	4.40	4.70	8.50	8.10	9.70	7.90		
Capacidad de agua (porcentaje)	10.17	12.09	11.45	12.49	10.91	10.13	10.89	12.10		
Capacidad de agua (gr)	97.93	89.43	70.65	75.43	91.29	89.27	108.02	85.60		
Capacidad de agua (%)	3.27	3.01	5.23	5.15	9.31	9.07	8.98	9.23		
Capacidad de Humedad	3.14	5.19	5.13	9.10	6.94	6.84	7.29			
Capacidad de Humedad (gr)	2.147	2.378	2.541	2.543	1.830	1.869	2.047			
Capacidad de Humedad (%)	2.081	2.240	2.327	2.331	1.712	1.749	1.998			

CAP DEL ANILLO		FAC DEL ANILLO				7 77	
Nº Golpes	12	17		25			
Nº MOLDE	1	2		3			
PENET	LECT DIAL	CARGA 1	LECT DIAL	CARGA 2	LECT DIAL	CARGA 3	
0.025	3	8	3.5	6	1	3	
0.050	5.1	13	5.5	14	2.5	6	
0.075	6.5	17	7	18	5	13	
0.100	7.5	19	8	21	7.5	19	
0.150	9	23	11	29	11	29	
0.200	10	26	16	41	12	31	
0.250	11	28	21.5	56	24.5	63	
0.298	11.5	30	26	67	30	78	
0.100	12.9	33	33	85	45.5	118	
0.500	14	36	38	98	55.5	145	
0.500	15.5	40	41.5	107	65.2	169	

0.1"	25	2.60	50	5.00	50	5.00
0.2"	52	3.47	92	6.13	95	5.33

Proyecto: Mejoramiento Estructural con Geotextiles
 Solicitado: Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 Ubicación: Laboratorio Nacional de Hidraulica - Universidad Nacional de Ingenieria
 Muestra: Subrasante
 Ing. Resp: Ing. José Alberto Martínez Del Rosano
 Técnico: J. F. A. R. M. C.
 Registro:
 Fecha: 25 de Abril 2007

RESULTADOS

MAX DENS SECA (gr/cc)	2.345
OPT CONT DE HUM (%)	8.40
CBR al 100% de la MDS (%)	
CBR al 95% de la MDS (%)	
RETIENE TAMIZ 3" o 2" (%)	
RET TAMIZ 3/4" o N° 4" (%)	
PASA TAMIZ N° 200 (%)	39.1
CLAS SUCS o AASTHO	SC - SM
PESO ESPECIFICO (gr/cc)	2.54

ABSORCION

Peso Suelo Humedo + Molde (gr)			
Peso Molde (gr)			
Peso Suelo Hum. Embebido (gr)			
Peso Suelo Hum. Sin Embebido (gr)			
Agua Absorbida (cc)			
Peso de suelo seco (gr)			
Absorcion (%)			

OBSERVACIONES

Gravas	0 00	Grueta	0 00
		Fina	0 00
Arenas	60 90	Grueta	2 40
		Medio	21 40
		Fina	37 00
Finos			39 1

FECHA	HORA	L D	L D	L D
% DE EXP				

ENSAYO DE COMPACTACION Y VALOR RELATIVO DE C.B.R.

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD

COMPACTACION - C B R

Numero de Capas : 5						Numero de Capas : 5								
Método de Compactación: "A" ASTM D - 1557 - 78						ASTM D - 1883 - 87								
N° Molde (cc)	922 78	12238	922 38			1963 18	2021 90	1960 30						
N° Golpes	25	25	25			13	29	56						
Módulo	B	B	B			1	2	3						
Peso Máximo + Molde (gr)	3580	3770	3748			7568	7852	7800						
Molde (gr)	1744	1744	1744			3412	3632	3542						
Suelo húmedo (gr)	1836	2025	2004			4156	4220	4258						
N° de recipiente	324	369	327	344	358	318			321	374	314	306	358	313
Suelo húmedo + recipiente (gr)	94 22	92 53	94 30	110 86	100 03	114 28			60 68	47 43	71 08	00 71	94 51	71 09
Suelo seco + recipiente (gr)	91 15	89 36	89 75	103 97	91 18	94 60			55 70	43 62	64 56	55 56	82 64	64 71
Peso de agua (gr)	3 07	3 17	5 55	6 89	8 85	19 68			4 98	3 81	6 52	5 15	11 87	6 38
Peso de recipiente (gr)	10 22	11 71	11 49	12 15	11 49	9 84			10 83	12 09	11 20	10 75	11 49	10 17
Suelo seco (gr)	80 93	77 65	77 26	91 82	79 69	84 76			44 87	31 53	53 36	44 81	71 15	54 54
Humedad (%)	3 79	4 08	7 18	7 50	11 11	23 22			11 10	12 08	12 22	11 49	16 68	11 70
Gravedad de Humedad	3 94		7 34		17 16				11 59		11 86		14 19	
Humedad (gr/cc)	1 991		2 196		2 173				2 117		2 097		2 172	
Peso seco (gr/cc)	1 915		2 045		1 854				1 897		1 866		1 902	

CAP. DEL ANILLO		FAC. DEL ANILLO: 7 77					
N° Golpes	13	26		56			
N° MOLDE	1	2		3			
PENET	LECT DIAL	CARGA 1	LECT DIAL	CARGA 2	LECT DIAL	CARGA 3	CARGA 3
0 025	0 4	1	0 8	2	0 6	2	2
0 050	1	3	1 1	3	1	3	3
0 075	1 1	3	1 4	4	1 5	4	4
0 100	1 9	5	2 2	6	1 9	5	5
0 150	3	8	4	10	2 9	8	8
0 200	4 9	11	5 9	15	3 9	10	10
0 250	7	18	7 2	19	5 2	11	11
0 298	8 9	21	9 2	24	7 6	20	20
0 409	13 9	36	13 8	36	10 1	26	26
0 500	21 2	55	19 5	51	15	39	39
0 600	29 2	76	25 8	67	20	52	52

0 1"	26	2 60	50	5 00	50	5 00
0 2"	52	3 47	92	6 13	95	6 33

Proyecto	Mejoramiento Estructural con Geotextiles
Solicitado	Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
Ubicación	Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
Muestra	Subrasante
Ing. Resp	Ing. José Alberto Martínez Del Rosario
Técnico	Y. F. A. R. M. C.
Registro	
Fecha	14 de Mayo 2007

RESULTADOS

MAX DENS SECA (gr/cc)	2 079
OPT CONT DE HUM (%)	10 00
CBR al 100% de la MDS (%)	
CBR al 95% de la MDS (%)	
RETIENE TAMIZ 3" o 2" (%)	
RET TAMIZ 3/4" o N° 4" (%)	
PASA TAMIZ N° 200 (%)	39 1
CLAS SUCS o AASTHO	SC - SM
PESO ESPECIFICO (gr/cc)	2 54

ABSORCION

Peso Suelo Humedo + Molde (gr)				
Peso Molde (gr)				
Peso Suelo Hum. Embebido (gr)				
Peso Suelo Hum. Sin Embebido (gr)				
Agua Absorbida (cc)				
Peso de suelo seco (gr)				
Absorción (%)				

OBSERVACIONES	

Gravas	0 00	Gruesa	0 00
		Fina	0 00
Arenas	60 90	Gruesa	2 40
		Media	21 40
		Fina	37 00
Finos		39 1	

FECHA	HORA	LD	LD	LD
% DE EXP				



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA
AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA

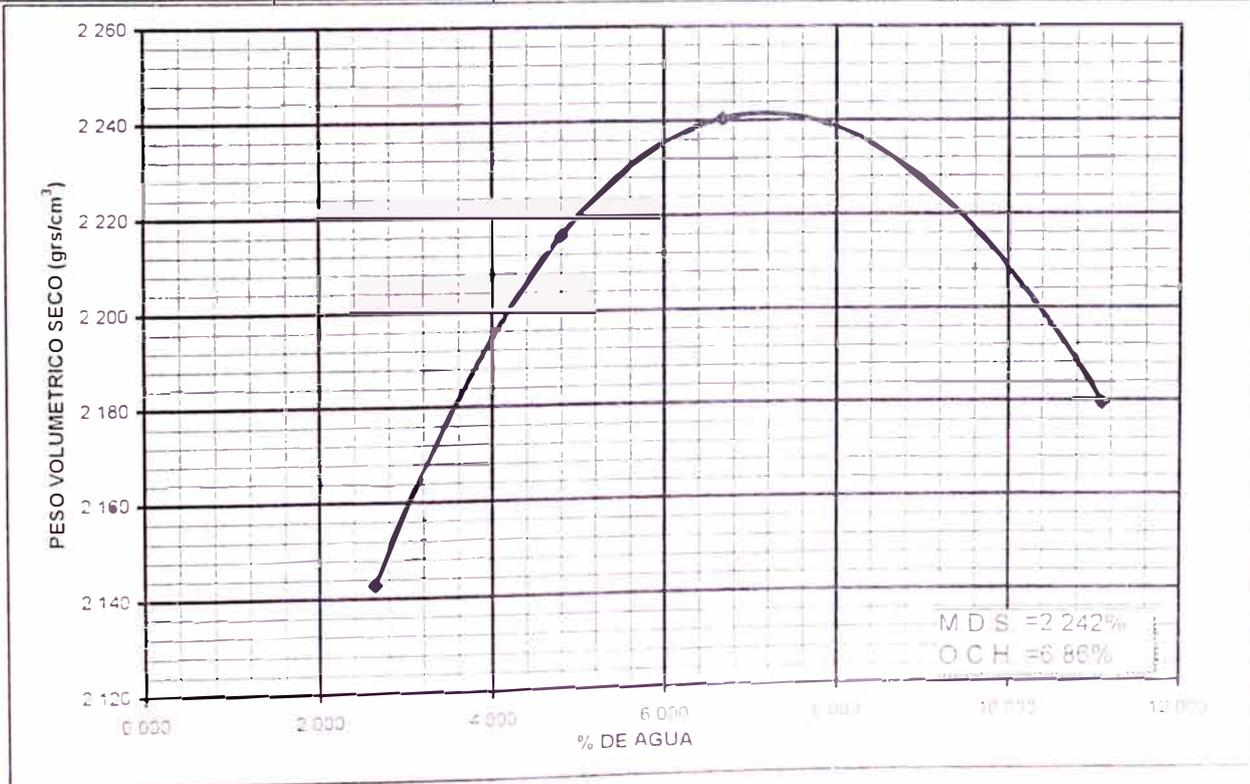


ENSAYO DE COMPACTACION
ASTM D-1557

YECTO: MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIAS AFIRMADAS CON EL SISTEMA GEOWED
CITADO: GRUPO 3 Y 4 CALICATA FECHA 15/05/07
RADOR: M.H.N/M.A L/L F.A.N MUESTRA: Afirmado PROF:

DE N°: F
MODO DE COMPACTACION: C VOLUMEN: 2099.55 cc

suelo + Molde	7984		8242		8384		8450	
Molde	3366		3366		3366		3366	
suelo húmedo compactado	4618		4876		5018		5084	
volumétrico húmedo	2.200		2.322		2.390		2.421	
Mostrador N°	192	27	308	343	319	375	372	371
suelo húmedo + Tara	101.82	106.45	79.91	92.49	80.08	93.02	120.94	109.87
suelo 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
de agua	2.20	2.57	3.19	3.62	4.35	5.02	10.98	9.77
de suelo seco	87.97	92.18	65.26	76.52	63.40	77.25	98.79	88.03
contenido de agua	2.50	2.79	4.89	4.73	6.86	6.50	11.11	11.10
humedad promedio	2.644		4.809		5.680		11.106	
volumétrico seco	2.143		2.216		2.240		2.179	



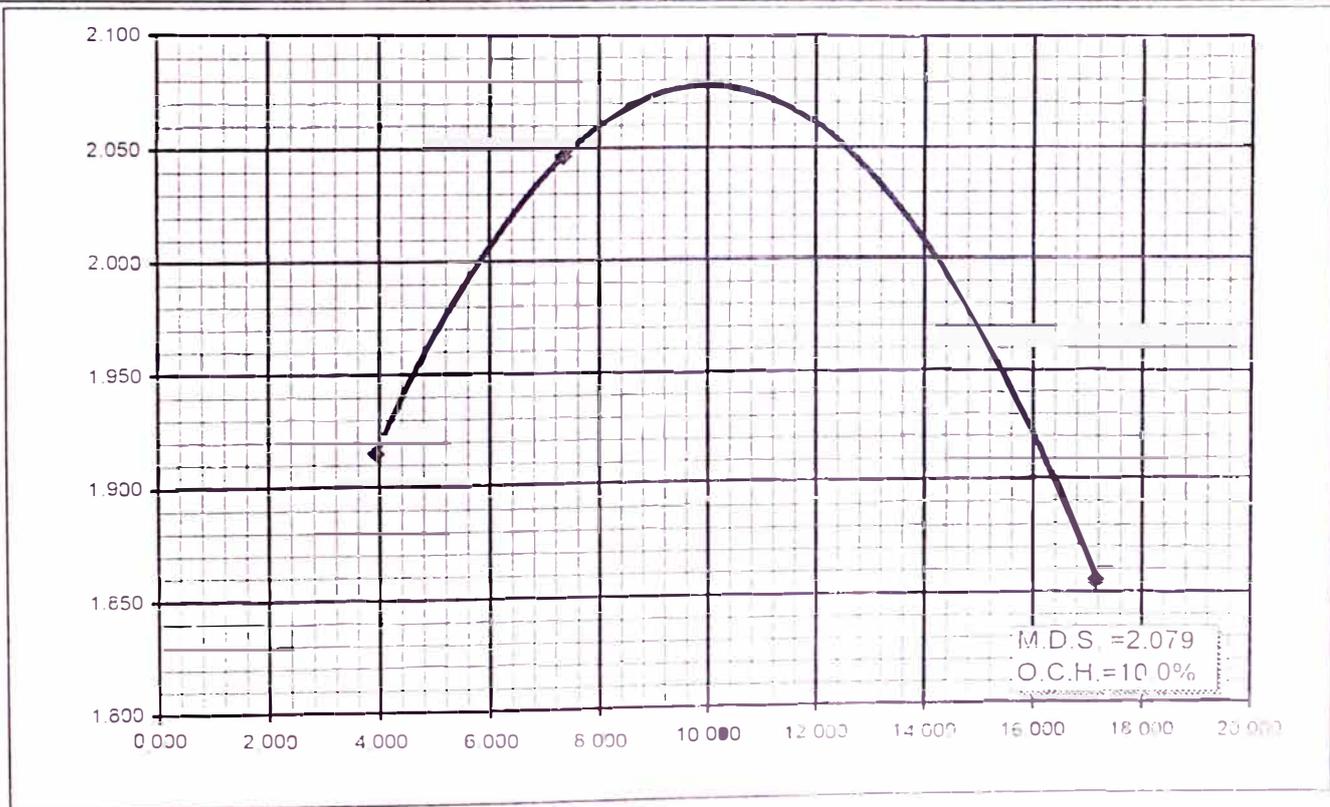
SERVACIONES



ENSAYO DE COMPACTACION
ASTM D-1557

PROYECTO: Aplicación de Geotextiles en Vías Afirmadas
 SOLICITADO: Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC FECHA: 10-05-2007
 OPERADOR: M.H.N/L.F.A.N MUESTRA: SUBRASANTE

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	
Recipiente 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



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

UBICACION							
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
Telf. (01) 481-1070 anexo 302 Cel:99912987 95242588
e-mail. lnhgeo@yahoo.com
lnh_uni@uni.edu.pe



AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D 422

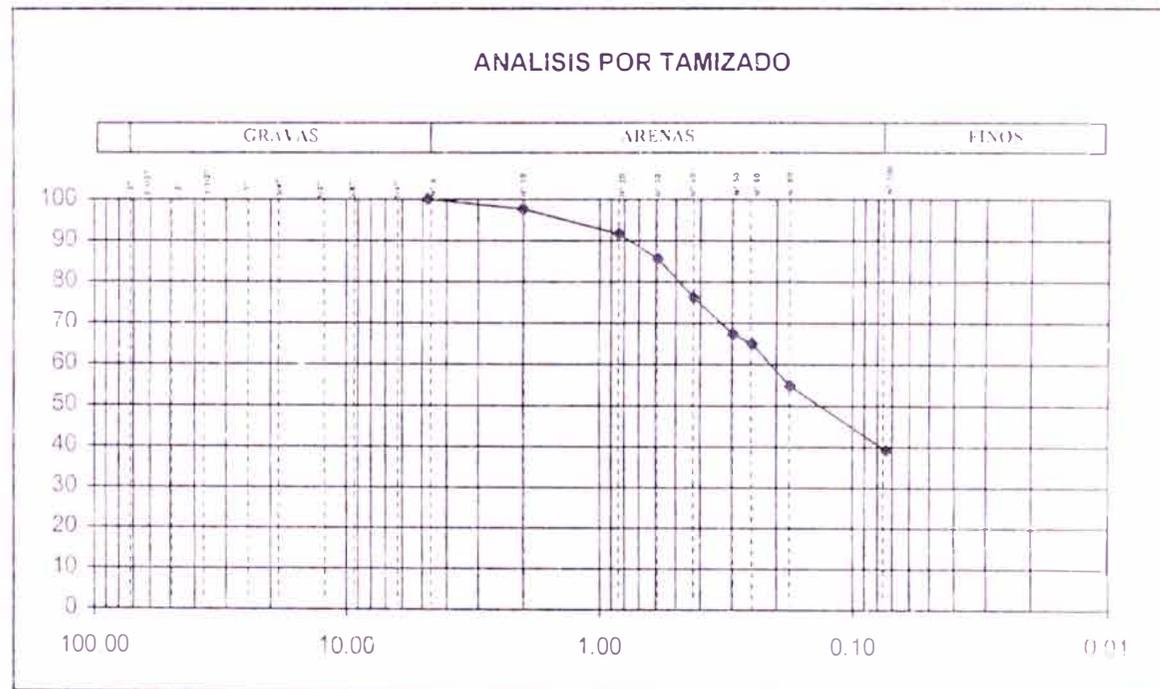
PROYECTO: Aplicación de Geotextiles en Vías Afirmadas
 SOLICITADO: Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 CALIGATA: MUESTRA Subrasante PROF. (m.)
 RESP: INS J. MARTINEZ TECNICO F A / L A / N / A / CH FECHA: 26 Abril 2007

FORMA NATURAL DE LA MUESTRA (%)	2.990
PESO DE LA MUESTRA SECA (gr)	200.000
PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA (gr)	121.800
PESO DE FINOS LAVADOS (gr)	78.200

PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

D60	0.214	Gravas	0.00	Gruesa	0.00
D30	-			Fina	0.00
D10	-	Arenas	60.90	Gruesa	2.40
Cu	-			Media	21.40
Cc	-	Finos	39.10	Fina	37.10

TAMICES ASTM	DESCRIPCION ABERTURA (m.m.)	PESO RETENIDO (gr.)	PORCENTAJE ACUMULADO PASA (%)
3"	76.200		
2 1/2"	63.500		
2"	50.800		
1 1/2"	38.100		
1"	25.400		
3/4"	19.000		
1/2"	12.500		
3/8"	9.525		
1/4"	6.350		
Nº 4	4.750		100.00
Nº 10	2.000	4.90	97.60
Nº 20	0.850	11.90	91.65
Nº 30	0.600	12.10	85.60
Nº 40	0.425	18.40	76.20
Nº 60	0.250	17.80	67.30
Nº 80	0.180	4.90	65.05
Nº 100	0.150	20.30	54.90
Nº 200	0.075	31.60	39.10
FINADO			
Finos 0.075mm-0.005mm			
Anillo: 0.005mm			
Cuchillo: 0.001mm			



Av. Tupac Amaru Puerta N° 4
 Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería
 Telf. (01) 491-1070 anexo 302 Cel 99972987 95242588
 e-mail: lnhgeo@yahoo.com
lnh_geo@un.edu.pe

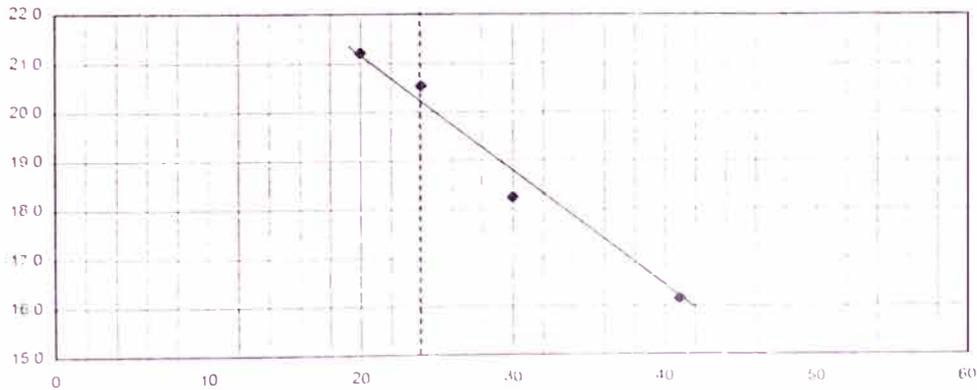


LIMITES DE ATTERBERG

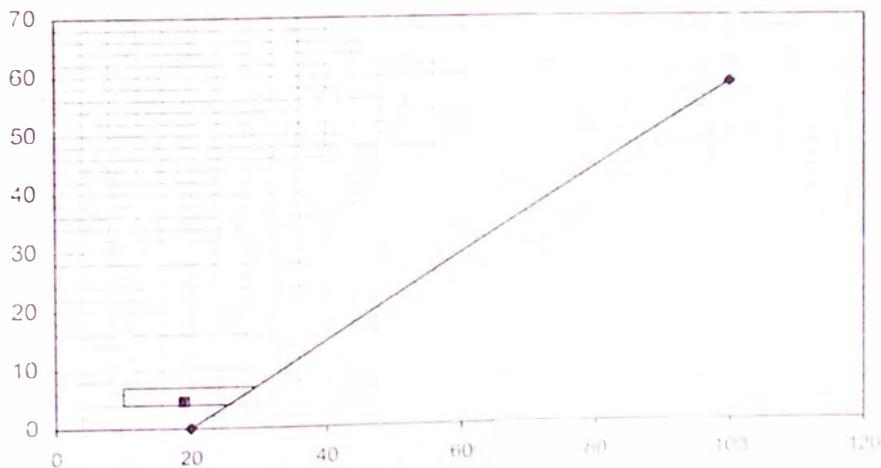
SOLICITANTE		Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC		FECHA		26 de Abril 2007	
PROYECTO		Aplicación de Geotextiles en Vías Afirmadas		ENSAYO		-	
LOCALIZACION		Laboratorio Nacional de Hidraulica - Universidad Nacional de Ingenieria		OPERADOR		YFA LANACHO	
SONDAJE		-		REVISADO		ING. J. MARTINEZ	
MUESTRA		Subrasante PROF. (m)		-		-	
		LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318)		LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4319)			
ENSAYO No		1	2	1	2	3	4
CAPSULA N		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			

I.P. = 4.58

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CARTA DE PLASTICIDAD



DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO: CL-ML



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



LABORATORIO GEOTECNICO

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./K.R.L. FECHA : 26 de Abril 2007

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D - 2216

MUESTRAS

CALICATA	Material Subrasante				
MUESTRA N°					
PROFUNDIDAD (m)					
FRASCO No	362				
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs	190.17			
2. Peso recipiente + suelo seco	grs	172.80			
3. Peso de agua	(1) - (2) grs	17.37			
4. Peso de recipiente	grs	11.85			
5. Peso de suelo seco	(2) - (4) grs	160.95			
6. Contenido de humedad	(3)/(5)*100 %	10.79			

MUESTRAS

CALICATA	Material Subrasante				
MUESTRA N°					
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 %				

MUESTRAS

CALICATA	Material Subrasante				
MUESTRA N°					
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 %				

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



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



LABORATORIO GEOTECNICO

PROYECTO : Aplicación de Geotextiles en Vías Afirmadas
 SOLICITADO : Grupo 3 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN : Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 HECHO POR : Y.F.A./L.A.N./A.CH.O. FECHA : MARZO 2007

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D - 2216

MUESTRAS

CALICATA		Material Subrasante	Material Subrasante	Material Subrasante	Material Subrasante	
MUESTRA N°						
PROFUNDIDAD (m)		A	A	B	B	Promedio
FRASCO No		362	302	334	375	
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs	134.89	135.56	161.90	146.21	
2. Peso recipiente + suelo seco	grs	133.50	134.00	155.50	139.70	
3. Peso de agua	(1) - (2) grs	1.39	1.56	6.40	6.51	
4. Peso de recipiente	grs	11.85	11.01	11.70	12.04	
5. Peso de suelo seco	(2) -(4) grs	121.65	122.99	143.80	127.66	
6. Contenido de humedad	(3)/(5)*100 %	1.14	1.27	4.45	5.10	2.99

MUESTRAS

CALICATA					
MUESTRA N°					
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 %				

MUESTRAS

CALICATA					
MUESTRA N°					
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 %				

Av. Tupac Amaru Puerta N° 4
 Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería
 Telf: (01) 481-1070 anexo 302 Cel: 99912987 95862583
 e-mail: lnhgeo@yahoo.com
lnh_geo@unli.edu.pe



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA

AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



LABORATORIO GEOTECNICO

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 del 2007

DENSIDAD DE CAMPO ANILLO

MUESTRAS

CALICATA	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante	Subrasante			
MUESTRA N°	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5			
PROFUNDIDAD (m)								
FRASCO n°	325	76	200	29	342			
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs 343.80	303.60	322.10	354.50	354.30			
2. Peso recipiente + suelo seco	grs 341.60	299.80	317.90	351.80	352.30			
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			
6. Contenido de humedad	(3)/(5)*100 % 1.30	2.45	2.35	1.43	0.90			
7. Volumen del anillo	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: (011) 481-1070 anexo 302 Cel: 99912987 95242588
 e-mail: lnhgeo@yahoo.com
lnh@uni.edu.pe



LABORATORIO GEOTECNICO

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 del 2007

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D - 2216

MUESTRAS

CALICATA	Natural	Inicio	Inicio	Inicio	Inicio
MUESTRA N°	Subrasante	3 Golpes	12 Golpes	17 Golpes	25 Golpes
PROFUNDIDAD (m)					
FRASCO No	343	304	304	192	328
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs 99.73	100.61	110.14	95.99	90.90
2. Peso recipiente + suelo seco	grs 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	grs 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	C	D	E
MUESTRA N°					
PROFUNDIDAD (m)					
FRASCO No	374	307	332	327	169
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs 170.19	120.97	138.01	141.51	164.75
2. Peso recipiente + suelo seco	grs 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	grs 12.09	12.18	12.07	11.49	15.98
5. Peso de suelo seco	(2) - (4) grs 132.24	89.01	107.08	108.28	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	C	D	E
MUESTRA N°					
PROFUNDIDAD (m)					
FRASCO No	356	35	338	354	15
1. Peso recipiente + suelo húmedo	grs 98.05	110.78	132.40	132.92	141.40
2. Peso recipiente + suelo seco	grs 82.34	92.94	100.62	111.61	102.12
3. Peso de agua	(1) - (2) grs 15.71	17.84	22.87	21.31	21.6
4. Peso de recipiente	grs 9.98	12.72	10.07	12.37	16.97
5. Peso de suelo seco	(2) - (4) grs 72.36	80.22	99.53	99.24	104.89
6. Contenido de humedad	(3)/(5)*100 % 21.71	22.24	22.95	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
 HECHO POR : Y.F.A./M.A.L./K.C.L. FECHA : 26 de Abril del 2007

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D - 2216

MUESTRAS SATURADO 17 GOLPES

CALICATA		A	B	C	D	E
MUESTRA N°						
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	19.32	19.33	22.19	26.12

MUESTRAS SATURADO 25 GOLPES

CALICATA		A	B	C	D	E
MUESTRA N°						
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						
MUESTRA N°						
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



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	C	D	E
Wmolde	2922.00	1746.00	1850.00	1860.00	1856.00
Volumen	2184.05	2119.84	2119.84	2134.05	2151.32

3 GOLPES						
MUESTRA	A	B	C	D	E	
Ws+m	6624.00	7018.00	6978.00	6622.00	6428.00	
DENSIDAD	1.70	2.49	2.42	2.18	2.12	
3 GOLPES						
gr/cm ³	1.70	2.49	2.42	2.18	2.12	

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



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



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	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	C	D	E			
Ws+m	6830.00	7170.00	7164.00	6850.00	6806.00			
DENSIDAD	1.79	2.56	2.51	2.28	2.29			
12 GOLPES								
gr/cm ³	1.79	2.56	2.51	2.28	2.29			

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



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



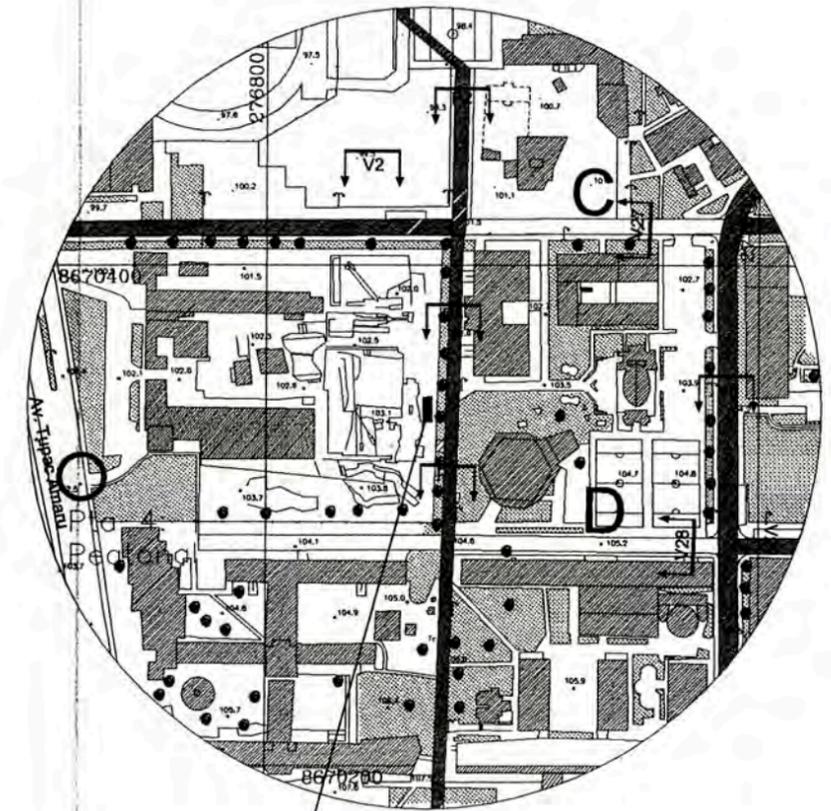
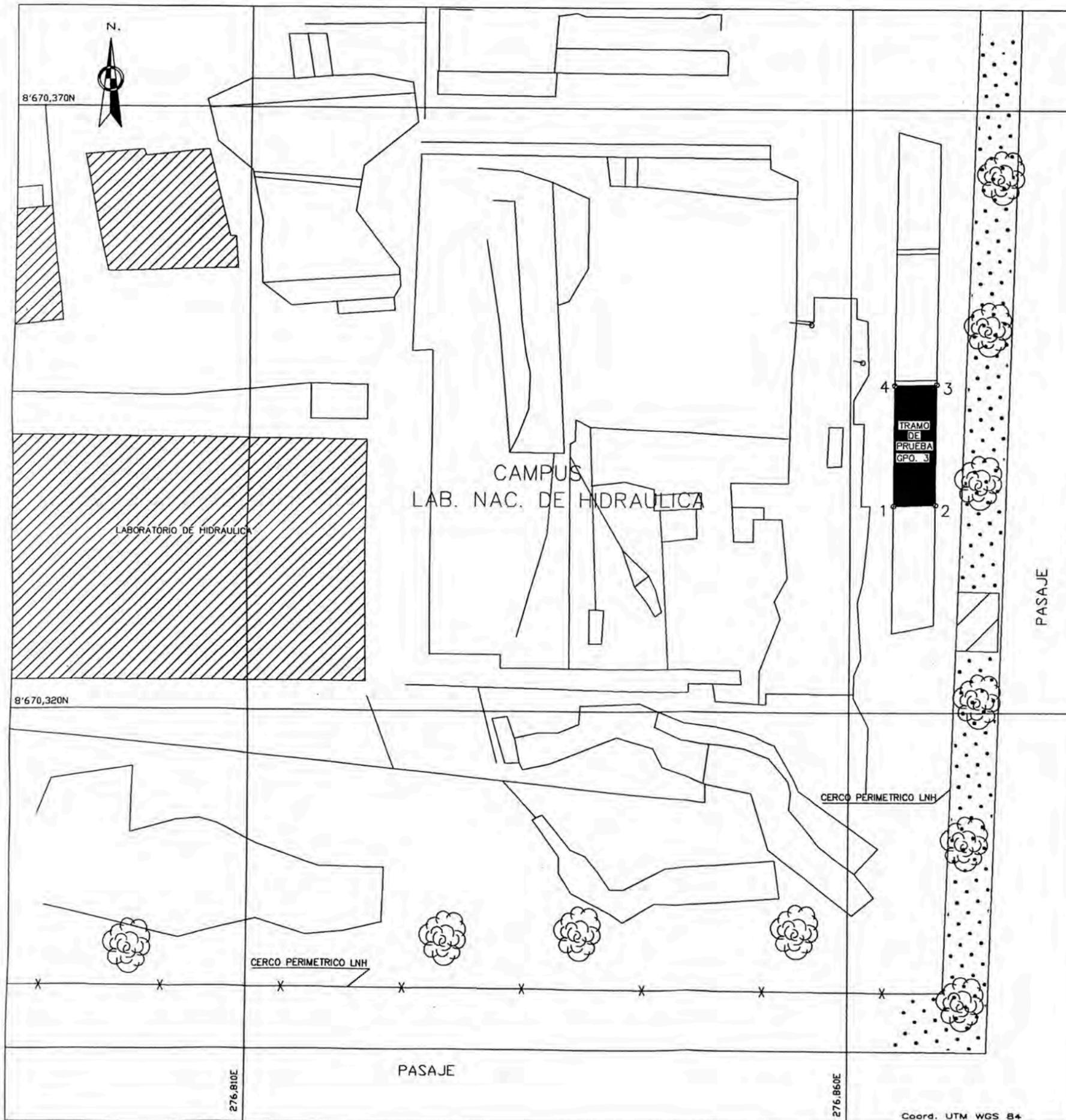
DENSIDADES MINIMA Y MAXIMA
A.S.T.M. D-4253 y A.S.T.M. D-4254

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	C	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	C	D	E	
Ws+m	7162.00	7470.00	7498.00	7118.00	7012.00	
DENSIDAD	1.94	2.70	2.66	2.41	2.39	
17 GOLPES						
gr/cm3	1.94	2.70	2.66	2.41	2.39	

Av. Tupac Amaru Puerta N° 4
 Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería
 Telf. (01) 481-1070 anexo 302 Cel.99912987_95242588
 e-mail: lnhgeo@yahoo.com
lnh_uni@uni.edu.pe

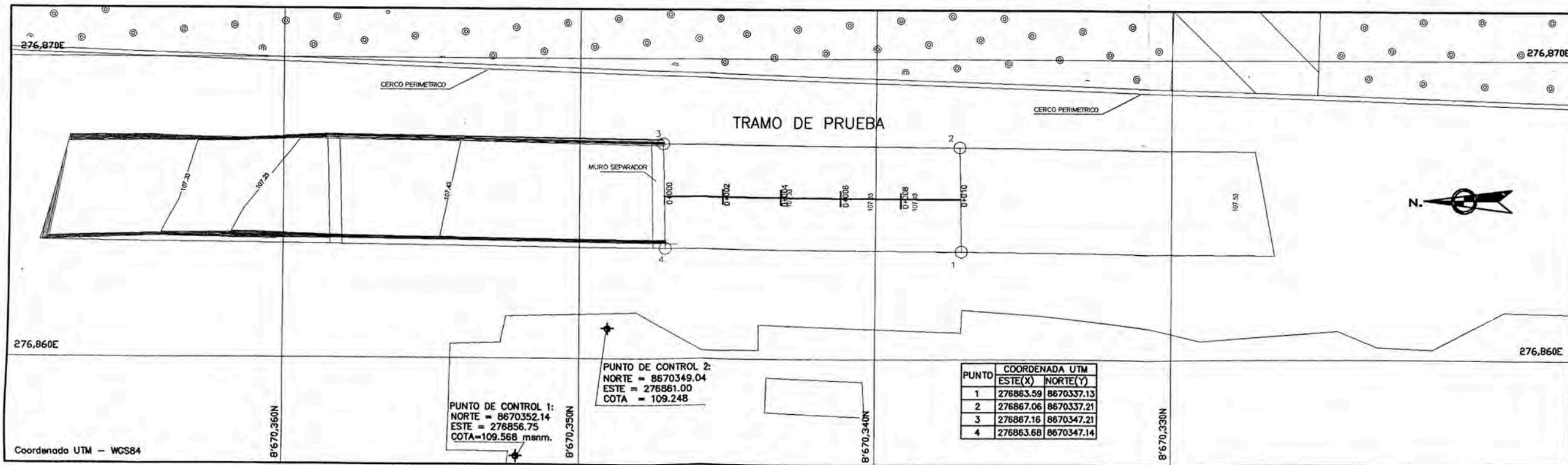


LOCALIZACION
ESCALA 1/2,000

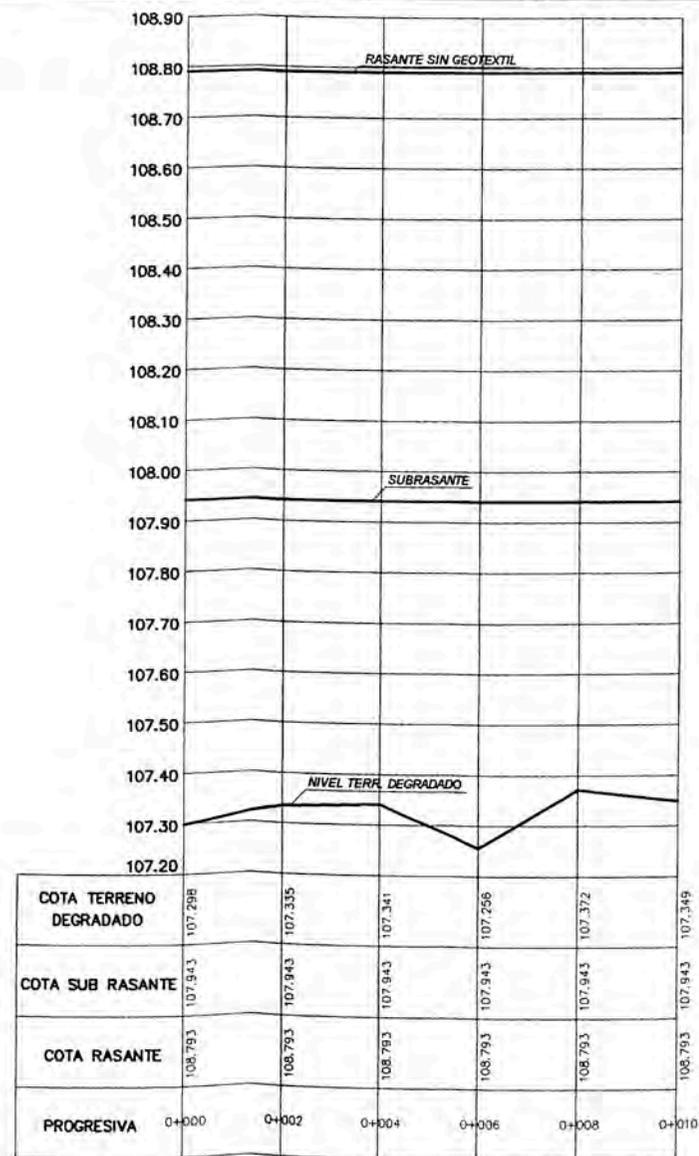
PUNTO	COORDENADA UTM	
	ESTE(X)	NORTE(Y)
1	276863.59	8670337.13
2	276867.06	8670337.21
3	276867.16	8670347.21
4	276863.68	8670347.14

UBICACION
ESCALA 1/250

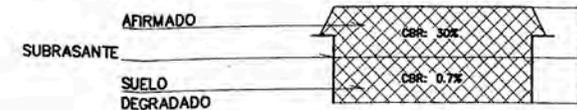
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL TITULACION PROFESIONAL POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS			
PROYECTO: APLICACION DE GEOTEXILES TEJIDOS EN VIAS AFIRMADAS			
INTEGRANTES: Luis Osorio Lucia Juan Carlos Huaranga Raymundo Cesar Pedro Arteaga Fretel Carlos Jaime Silva Tello		REVISADO:	
PLANO: UBICACION - LOCALIZACION			LAMINA 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
Juan Carlos Huaranga Raymundo
Cesar Pedro Arteaga Fretel
Carlos Jaime Silva Tello

REVISADO:

PLANO:
PLANTA - PERFIL LONGITUDINAL

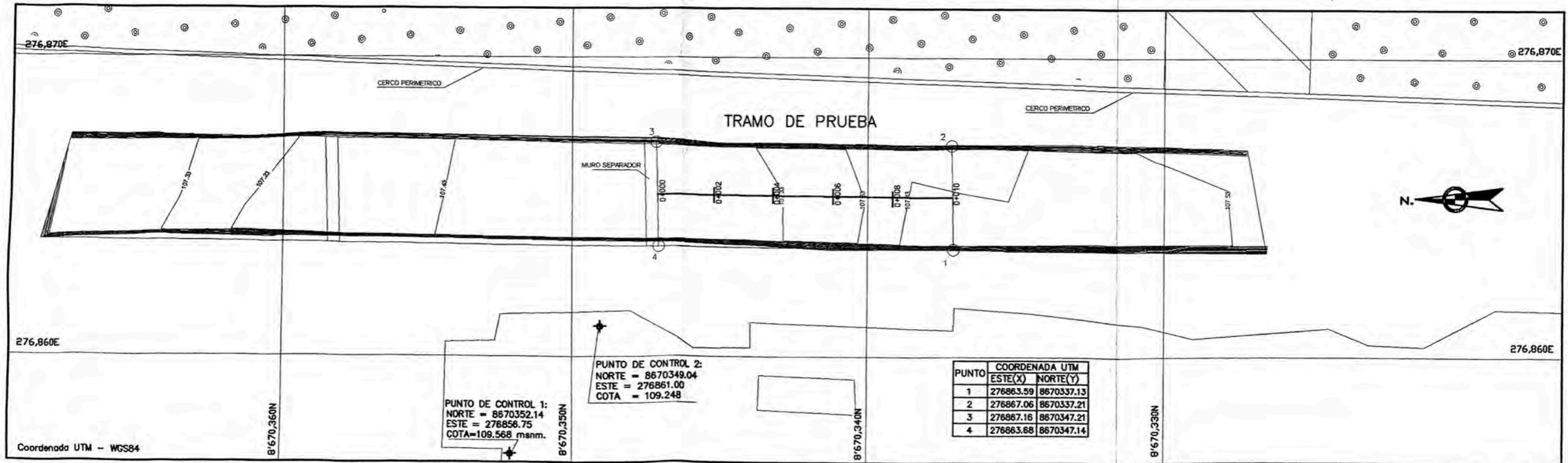
UBICACION:
Lab. Nacional de Hidraulica
Av. Tupac Amaru s/n
DISTRITO : RIMAC
PROV.: LIMA DPTO.: LIMA

DIBUJO:
FECHA: MARZO 2007

GRUPO DE TRABAJO:
Grupo N°3

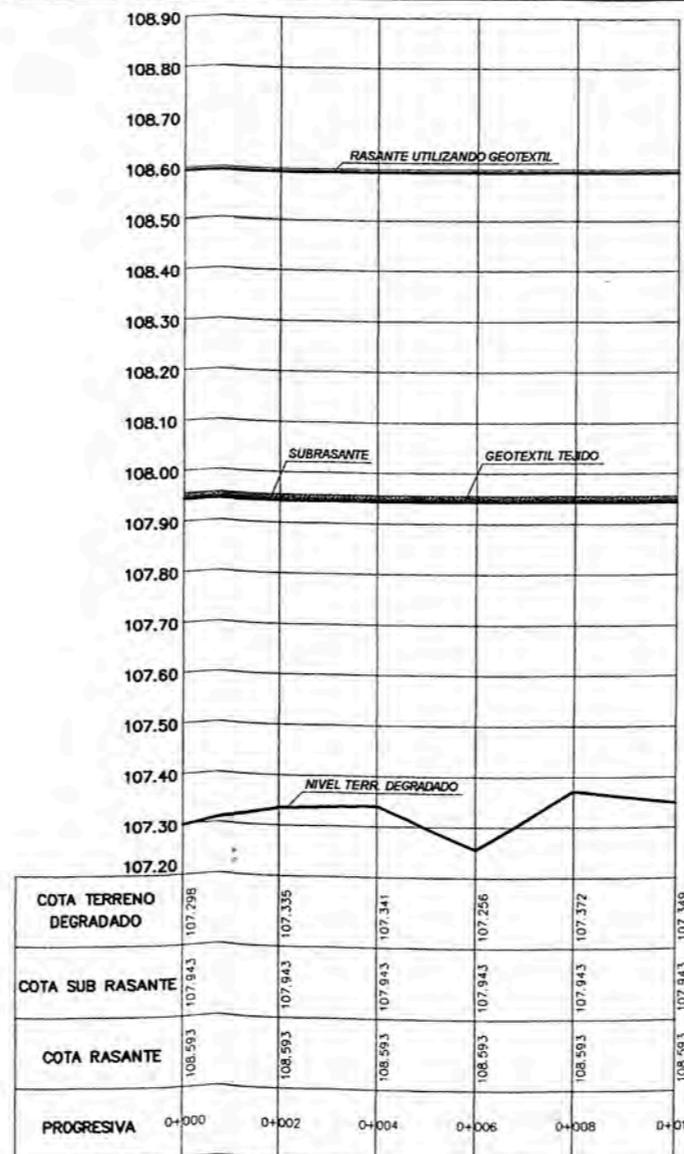
ESCALA:
INDICADO

LAMINA N°:
PP-01



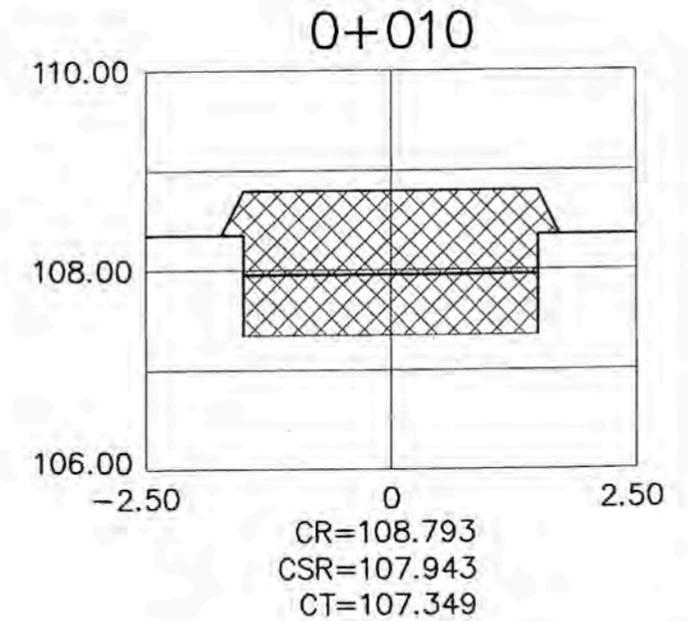
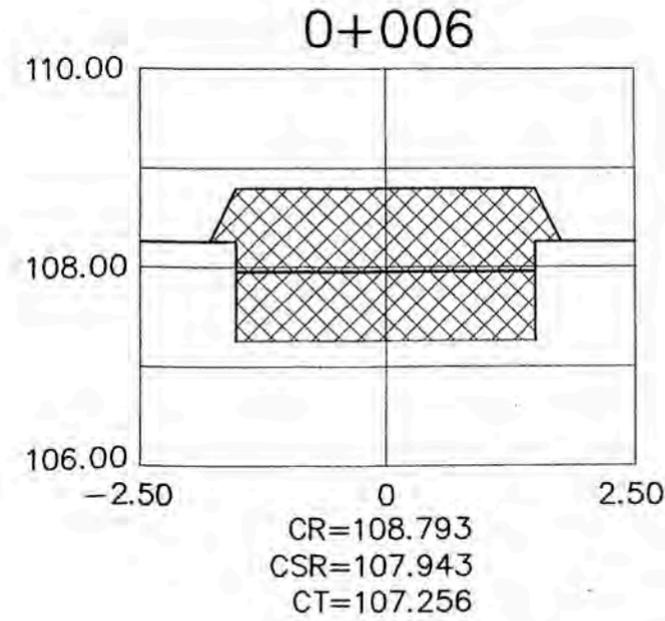
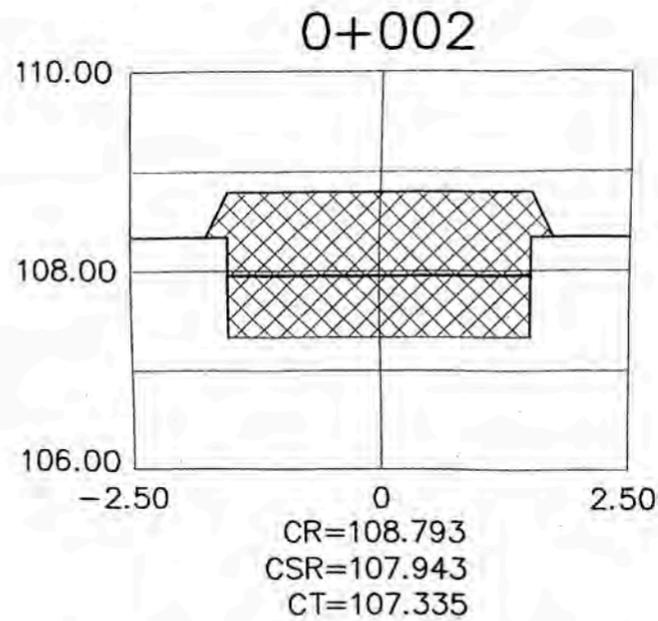
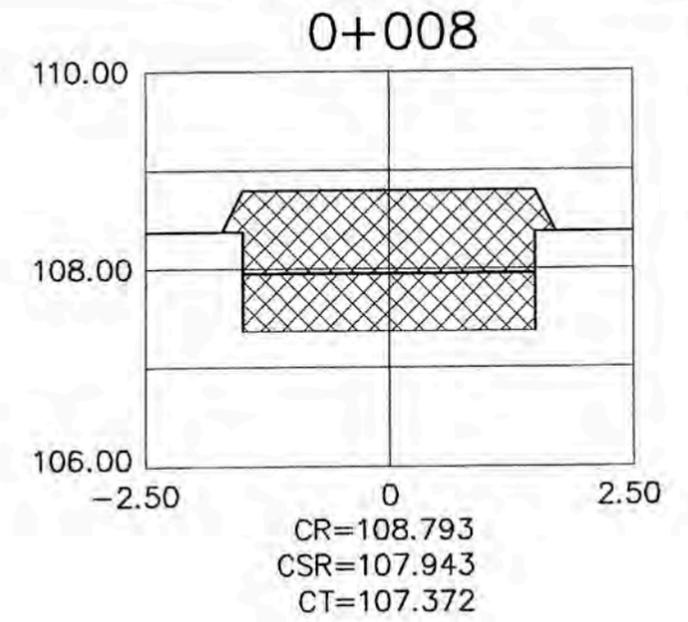
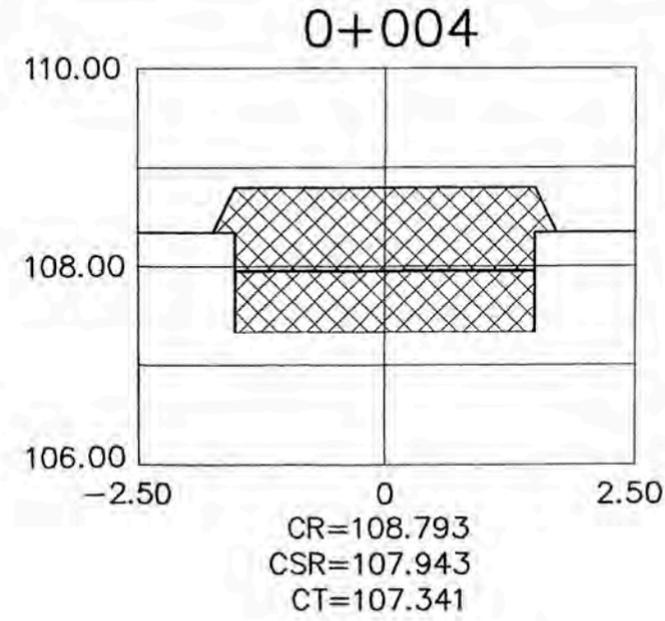
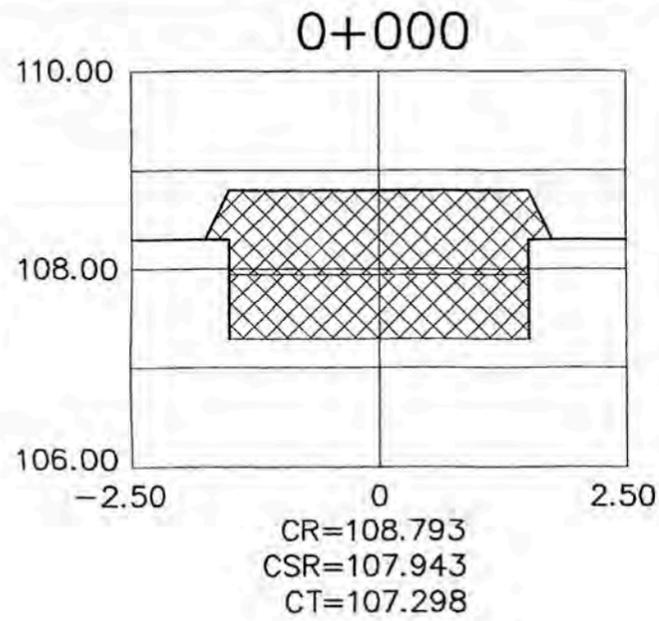
PLANTA
ESCALA 1/100

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 GEOTEXTILES TEJIDOS EN VIAS AFIRMADAS			
INTEGRANTES: Luis Osorio Lucio Juan Carlos Huaranga Raymundo Cesar Pedro Arteaga Fretel Carlos Jaime Silva Tello		REVISADO:	
PLANO: PLANTA - PERFIL LONGITUDINAL Diseño empleando geotextil tejido como refuerzo y estabilizacion			LAMINA N°:
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
			PP-02



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

INTEGRANTES:
Luis Osorio Lucio
Juan Carlos Huaranga Raymundo
Cesar Pedro Arteaga Fretel
Carlos Jaime Silva Tello

REVISADO:

PLANO:
SECCIONES TRANSVERSALES

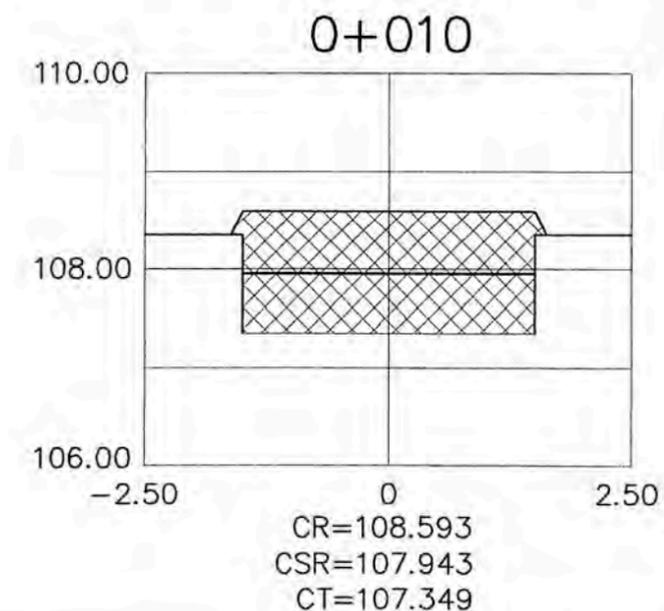
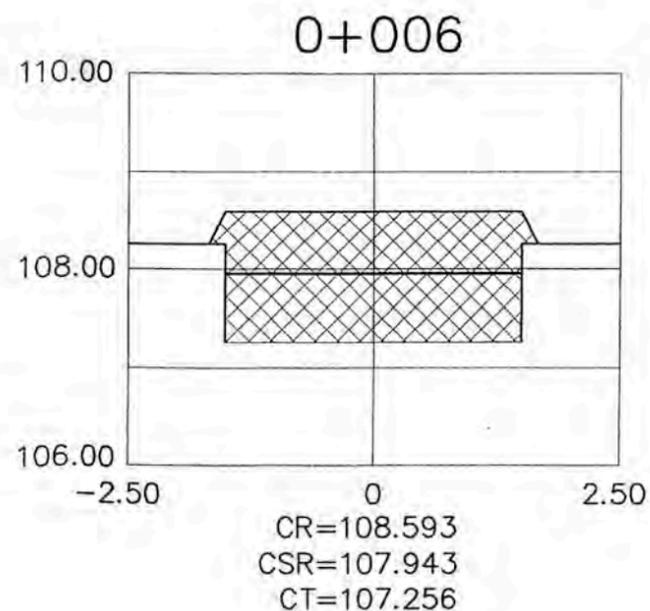
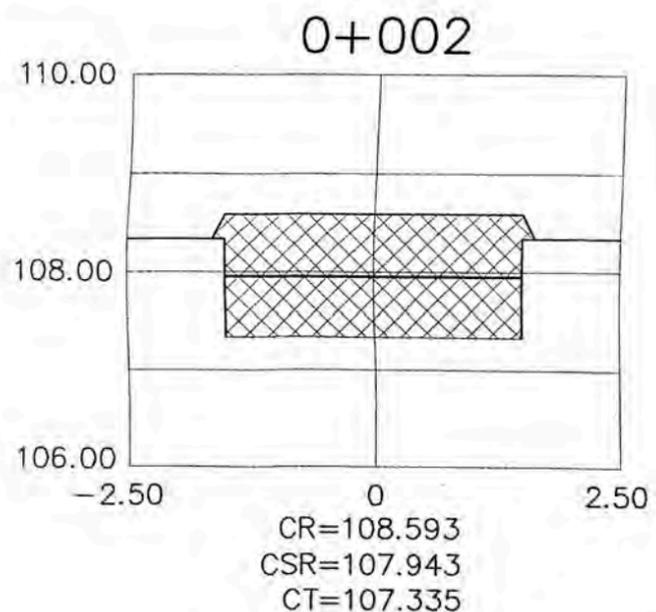
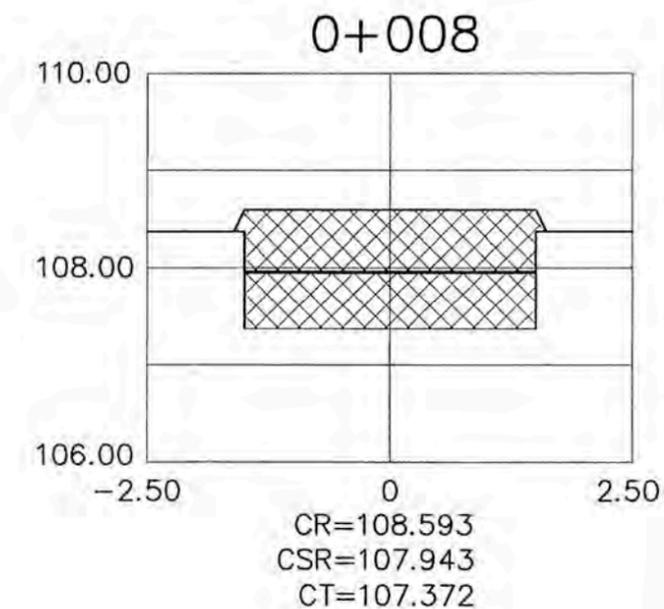
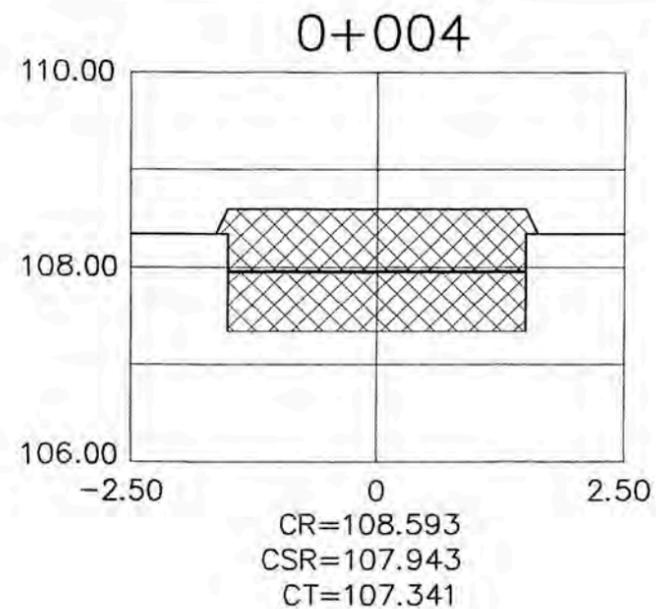
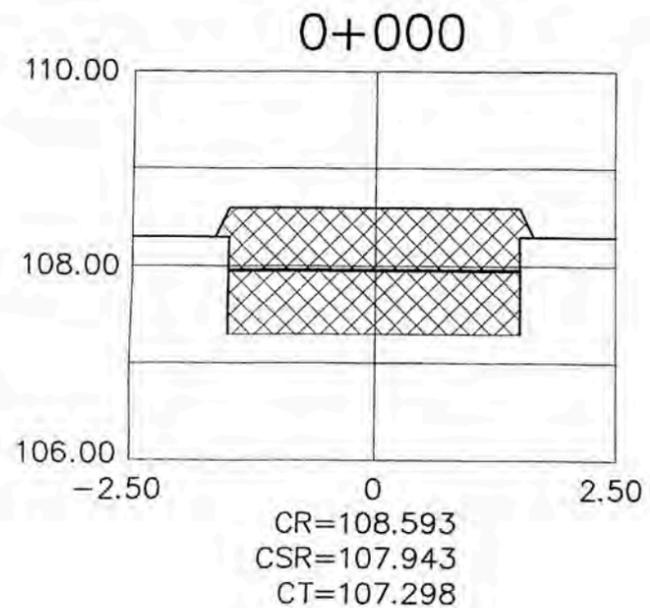
LAMINA N°:

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

ST-01



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
Juan Carlos Huaranga Raymundo
Cesar Pedro Arteaga Fretel
Carlos Jaime Silva Tello

REVISADO:

PLANO: **SECCIONES TRANSVERSALES**
Diseño empleando geotextil tejido como refuerzo y estabilizacion

LAMINA N°:

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

ST-02