

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



**MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIAS AFIRMADAS
CON EL SISTEMA GEOWEB
ANÁLISIS COMPARATIVO DE DISEÑO CON MÉTODOS
CLÁSICOS DE COBERTURA GRANULAR**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

CARLOS RUBÉN BALBERENA CÚNEO

Lima- Perú

2007

INDICE

| | |
|---|-----------|
| Resumen..... | 03 |
| Lista de Cuadros..... | 04 |
| Lista de Figuras..... | 05 |
| | |
| Introducción..... | 06 |
| | |
| Capitulo I Antecedentes y Definiciones..... | 07 |
| 1.1 Antecedentes..... | 07 |
| 1.2 Justificación..... | 08 |
| 1.3 Objetivos del Proyecto..... | 08 |
| 1.4 Descripción del Proyecto..... | 08 |
| 1.4.1 Ubicación y Localización..... | 08 |
| 1.4.2 Características Geométricas..... | 09 |
| 1.4.3 Condiciones Para la Ejecución del Proyecto..... | 09 |
| 1.4.4 Metodología de Estudio..... | 10 |
| 1.5 Definiciones..... | 19 |
| 1.6 Topografía y Trazo..... | 20 |
| | |
| Capitulo II Diseño de Pavimento – Sistema Geoweb para un pavimento con cobertura granular..... | 22 |
| 2.1 Criterios y Método de Diseño..... | 22 |
| 2.2 Pavimentos Asfálticos..... | 23 |
| 2.3 Pavimentos Granulares Para Vías con Bajo Tráfico..... | 24 |
| 2.4 Parámetros de Diseño..... | 28 |
| 2.5 Cálculo Para el Diseño de Pavimentos Granulares..... | 34 |
| | |
| Capitulo III Diseño de Pavimento - Métodos Clásicos..... | 46 |
| 3.1 Criterios y Método de Diseño – Método Naasra..... | 46 |
| 3.2 Parámetros de Diseño – Método Naasra..... | 46 |
| 3.2.1 Tráfico..... | 46 |
| 3.3 Cálculo Para el Diseño de Pavimento – Método Naasra..... | 50 |
| 3.4 Criterios y Método de Diseño – Método Boussinesq..... | 51 |

| | | |
|-----|---|-----------|
| 3.5 | Parámetros de Diseño – Método Boussinesq..... | 51 |
| 3.6 | Cálculo Para el Diseño de Pavimento – Método Boussinesq..... | 52 |
| | Capitulo IV Análisis Comparativo de Diseños de Pavimentos..... | 55 |
| | Conclusiones..... | 57 |
| | Recomendaciones..... | 59 |
| | Bibliografía..... | 60 |
| | Anexo I Fotografías | |
| | Anexo II Planos | |
| | Anexo III Ensayos de Laboratorio | |

RESUMEN

El Informe de Suficiencia presenta dos alternativas para el diseño de caminos de bajo volumen de tránsito con cobertura granular mediante el análisis de diseño entre el método GEOWEB de soporte de carga y compararlo con los métodos clásicos, usando los resultados de un tramo de prueba ubicado dentro del terreno asignado al Laboratorio Nacional de Hidráulica de la Universidad Nacional de Ingeniería, esto como parte del proyecto denominado Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema GEOWEB.

Para lo cual se han tomado los datos de una poza degradada apropiadamente dentro un tramo de vía mencionado anteriormente obteniendo un CBR bajo, con el que se procedió a realizar los diseños.

Obteniéndose que el espesor total requerido con la inclusión del sistema GEOWEB de soporte de carga es mucho menor que el obtenido con el método clásico.

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1.1 : Ubicación del Proyecto.
- Cuadro 1.2 : Relación de Calicatas.
- Cuadro 1.3 : Resultados de Laboratorio.
- Cuadro 1.4 : Resumen de Ensayos de Laboratorio.
- Cuadro 1.5 : Obtención de CBR.
- Cuadro 1.6 : Resumen de Resultados para el Diseño de Pavimentos.
- Cuadro 1.7 : Resumen de Ensayos de Laboratorio.
- Cuadro 2.1 : Espesor Total de una Base de Arena Gruesa o Grava, incluyendo la Sección de Geoweb.
- Cuadro 2.2 : Cargas Unitarias para el Material de Piedra Chancada.
- Cuadro 2.3 : Relación Máxima de Angulo de fricción Recomendada.
- Cuadro 2.4 : Correlación de los Parámetros de resistencia del Suelo de subrasante para Suelos Cohesivos (de granos finos).
- Cuadro 3.1 : Clasificación de Tráfico Proyectado al Año Horizonte.
- Cuadro 3.2 : Relaciones de Ejes Equivalentes.
- Cuadro 3.3 : Para el Cálculo de Ejes Equivalentes.
- Cuadro 3.4 : Correlación de los parámetros de resistencia del suelo de Subrasante para Suelos Cohesivos (de granos finos).
- Cuadro 4.1 : Espesores de Diseños (m.)

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 Sección de Suelo.
- Figura 1.2 Detalles de la Vía.
- Figura 2.1 Detalle de Pavimento flexible (no estudiado a la fecha).
- Figura 2.2 Detalle de Pavimento Granular.
- Figura 2.3 Celdas Texturizada.
- Figura 2.4 Celdas Perforadas.
- Figura 2.5 Presión de Inflado Equivalente a Presión de Contacto.
- Figura 2.6 Influencia del Sistema Dual Respecto a Esfuerzos.
- Figura 2.7 Angulo de fricción Interna.
- Figura 2.8 Ensayo de Cargas Cíclicas de Pavimento Granular.
- Figura 2.9 Pavimento con y sin Geoweb.
- Figura 2.10 Carga y Esfuerzo.
- Figura 2.11 Superficie de Contacto.
- Figura 2.12 : Sección y Profundidades.
- Figura 2.13 : Esfuerzo Parte Superior Geoweb.
- Figura 2.14 : Esfuerzo Parte Inferior Geoweb.
- Figura 2.15 : Esfuerzos Horizontales Geoweb.
- Figura 2.16 : Esfuerzo Horizontal Promedio Geoweb.
- Figura 2.17 : Considerando la Geocelda Como un Cilindro.
- Figura 2.18 : Esfuerzos en Geoweb.
- Figura 2.19 : Esfuerzo Vertical Geoweb.
- Figura 2.20 : Sección Típica.
- Figura 4.1 Espesores de Diseños.

INTRODUCCIÓN

Los caminos de bajo volumen de tránsito representan aproximadamente el 85% del total de la red vial a nivel nacional y la superficie de rodadura de estos caminos está constituida por materiales granulares naturales, sometidos a operaciones de selección granulométrica, manual o mecánica, con equipamientos de costo limitado.

Dentro de este contexto se presenta el sistema GEOWEB de soporte de carga como una alternativa, que reduce esfuerzos sobre la subrasante directamente debajo de la carga y el espesor total necesario de la estructura.

El Capítulo I del presente informe es un resumen del proyecto presentado durante el curso de titulación, donde podrán encontrar los datos, sustentos, ensayos, etc.

Los Capítulos II, III y IV es propiamente el informe de suficiencia que se basa específicamente en realizar un análisis de diseño entre el método GEOWEB de soporte de carga y compararlo con los métodos clásicos para pavimentos con cobertura granular usando los resultados de un tramo de prueba ubicado dentro del terreno asignado al Laboratorio Nacional de Hidráulica de la Universidad Nacional de Ingeniería, esto como parte del proyecto denominado Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema GEOWEB

CAPITULO I ANTECEDENTES Y DEFINICIONES

1.1 ANTECEDENTES

Los caminos de bajo volumen de tránsito representan aproximadamente el 85% del total de la red vial a nivel nacional y la superficie de rodadura de estos caminos está constituida por materiales granulares naturales, sometidos a operaciones de selección granulométrica, manual o mecánica, con equipamientos de costo limitado.

Dentro de este contexto se presente el sistema GEOWEB de soporte de carga como una alternativa, que reduce esfuerzos sobre la subrasante directamente debajo de la carga y el espesor total necesario de la estructura.

1.2 JUSTIFICACIÓN

De por sí, los materiales conformados por agregados o suelos naturales, que se utilizan en la construcción de la base de una carretera o para otras aplicaciones de soporte de carga, son inestables en comparación con otros materiales de construcción tales como el concreto reforzado o el acero. Esto se debe a que están constituidos por partículas individuales de tamaño variable, que pueden rodar o deslizarse la una sobre la otra. Su resistencia al corte es relativamente baja y pueden eventualmente fallar como resultado de una o varias aplicaciones de la carga. Sin embargo, esa debilidad de unión característica proporciona por otra parte mucha flexibilidad a estos materiales naturales de construcción, permitiendo apilarlos, transportarlos y colocarlos sobre grandes superficies o largos tramos de carretera.

Para aumentar la estabilidad de los agregados y que puedan servir como superficie de rodadura de las estructuras de soporte de cargas, se utilizan generalmente el cemento asfáltico y el cemento Portland. Por otra parte, la mayoría de las estructuras de soporte de carga requieren también de una buena capa de base y/o subbase que distribuya las cargas de la superficie a la subrasante. Los materiales de agregado suelto son ideales para esta función ya que su colocación es sencilla, son flexibles y mejoran la calidad de rodadura de la estructura. Sin embargo, en vista de su poca resistencia, durante tiempo los constructores de carretera han buscado nuevas formas de incrementar la estabilidad a largo plazo de estos agregados sueltos. Se han desarrollado y probado muchos productos para ligar o reforzarlos, pero muchas veces con un éxito mitigado.

Es importante indicar, que los criterios mas importantes para seleccionar la superficie de rodadura para un camino afirmado, establecen que a mayor tránsito pesado, se justificará utilizar afirmados de mayor rendimiento; y que al alto costo de la construcción, impulsa al uso de materiales locales para abaratar la obra, lo que en muchos casos podrá justificar el uso de materiales estabilizados.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Actualmente en el mercado peruano de la Ingeniería Civil se viene utilizando productos geosintéticos en diferentes campos de aplicación, pero la desventaja, digámoslo así, es que muchos ingenieros no conciben el diseñar y ejecutar las obras con este producto alternativo. Por lo cual el principal objetivo de este proyecto es dar a conocer las bondades de este material de construcción y de esta manera tener una idea mas clara de cómo diseñar un pavimento aplicando geosintéticos.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto general consiste en diseñar y construir un tramo de pavimento aplicando el sistema GEOWEB de confinamiento celular.

1.4.1 UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN

Política: La ubicación política de la zona en estudio es la siguiente:

| | | |
|--------------|--------------------------------------|--------------------|
| Localidad | Laboratorio Nacional de Hidráulica - | Universidad |
| | Nacional de Ingeniería | |
| Distrito | Rimac | |
| Provincia | Lima | |
| Departamento | Lima | |

Geográfica: La zona donde se construirá la obra en mención, se encuentra ubicada en la costa central del territorio peruano, que corresponde a la Región Lima, dentro de las instalaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería, como se puede apreciar en el plano número 01 del anexo II.

La ubicación Geográfica del campus universitario en coordenadas UTM:

| Cuadro 1.1 : Ubicación del Proyecto | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| DESCRIPCION | COORDENADAS |
| M 18 | E 276400, 277600 m. |
| | N 8669600, 8671200 m. |
| ALTITUD | 108.00 m.s.n.m. |

1.4.2 CARACTERISTICAS GEOMÉTRICAS

Se ha considerado el proyecto de una calzada (o llamado superficie de rodadura) de 3.00 m. de ancho que por las condiciones del terreno y el servicio que prestará la calzada ha de ser de solo afirmado.

La configuración geométrica de este tramo de pavimentación tiene un eje de curso recto y lineal, que tiene una longitud efectiva de 10.00 ml.

1.4.3 CONDICIONES PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Se ha tenido que crear las condiciones apropiadas para poder ejecutar el proyecto teniendo en cuenta que el suelo de subrasante requeriría un CBR menor a 1%; para lo cual se ha tenido que realizar investigaciones Geotécnicas de campo para poder degradar el suelo materia de pavimentación, con fines de aplicación del geoweb.

El objetivo del estudio de suelos, ha sido determinar las características del material que forma la subrasante y el afirmado, realizando muestras de campo y estudios in situ.

Se realizaron los siguientes estudios:

- **Determinación del contenido de humedad** del suelo de subrasante, siendo éste, un ensayo rutinario de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de peso seco.
- **Ensayo de compresión inconfiada** del suelo de subrasante, con el fin de evaluar y determinar la resistencia al corte del suelo para el cálculo de la capacidad portante.
- **Ensayo de relación de soporte de California (CBR)** para evaluar la capacidad portante del suelo de subrasante, sub-base y base de pavimentos.

Ensayo Granulométrico por Tamizado del afirmado para obtener un criterio de aceptabilidad para su uso.

Ensayo de Corte Directo del afirmado para poder determinar el ángulo de fricción interna.

1.4.4 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Trabajo de campo

El personal técnico del Laboratorio Geotécnico del Laboratorio Nacional de Hidráulica (02 personas) conjuntamente con los integrantes del grupo de trabajo (05 personas) se constituyeron en la zona del proyecto para verificar *in-situ* las condiciones físicas del área donde se proyectó construir el pavimento granular.

Se realizó la evaluación geotécnica para determinar las características físico-mecánicas del suelo del sitio propuesto, empleando diversos métodos de exploración de campo. Se realizó una excavación de 10.21 m. x 3.45 m. x 1.05 m. aproximadamente para la poza de la nueva subrasante generada; pero a su vez esta excavación nos sirvió para establecer tres puntos de control, a los cuales llamaremos calicatas, con la finalidad de evaluar las características del suelo *in-situ* y tomar muestras para llevar a cabo las pruebas de laboratorio. También, se tomaron muestras de los suelos excavados para los respectivos ensayos de laboratorio. Se busco que estos suelos excavados se separen en diferentes montículos de acuerdo a sus características similares en función a una inspección visual realizada *in-situ*. También, se realizaron ensayos *in-situ*, tanto en la poza de prueba y luego en la poza de la subrasante generada para poder verificar y establecer las correlaciones de algunos valores obtenidos en laboratorio.

Trabajo de gabinete

Comprende la evaluación de los resultados obtenidos del laboratorio, recopilación y organización sistemática de toda la información de campo y elaboración de planos.

a) Investigaciones Geotécnicas-Primera Etapa

Para esta primera etapa se han determinado las características físico-mecánicas más representativas del suelo del sitio propuesto a través métodos de investigación de campo. De la excavación realizada para la poza de la nueva subrasante se tomaron

muestras de suelo para llevar a cabo las pruebas de laboratorio y datos de campo para elaborar el perfil estratigráfico del suelo.

- **Calicatas**

Llamaremos calicatas a los tres puntos elegidos a lo largo la excavación (ver Cuadro 1.2). C-1 y C-3 se encuentran en los extremos y C-2 en el centro como se puede apreciar en el plano 02 del anexo II. De cada punto se ha extraído muestras para los respectivos ensayos de laboratorio.

| Cuadro 1.2 : Relación de Calicatas | |
|---|-----------------------------|
| Calicatas | Profundidad promedio (m) |
| C-1 | 1.03 |
| C-2 | 1.17 |
| C-3 | 1.00 |

- **Registros de investigación de los Suelos**

De acuerdo a los materiales identificados en las excavaciones de las calicatas se ha elaborado un registro de sondajes donde se indica las características físicas encontradas en los suelos, clasificación y simbología (ver cuadro N° 1.3).

- **Determinación de la Profundidad del Nivel Freático**

Durante la excavación de la poza para la nueva subrasante en el área en donde se construirá el pavimento granular no se ha detectado la presencia de filtraciones ni el nivel freático de las aguas subterráneas; se sospecha que esta se encuentra a cotas inferiores.

- **Ensayos de Laboratorio para la obtención del suelo degradado**

Con las muestras disturbadas extraídas de las calicatas de exploración se determino las características físico-mecánicas del suelo del sitio propuesto, los resultados determinaron la gradación y por consiguiente la clasificación SUCS. Los ensayos se

realizaron en el Laboratorio Geotécnico del Laboratorio Nacional de Hidráulica de la Universidad Nacional de Ingeniería, bajo las normas de la American Society for Testing and Materials (A.S.T.M), que se describen a continuación:

| | |
|--|-------------|
| ❖ Contenido de humedad | ASTM D-2216 |
| ❖ Análisis granulométrico por tamizado | ASTM D-422 |
| ❖ Límite Líquido | ASTM D-423 |
| ❖ Límite Plástico | ASTM D-424 |

• Clasificación de Suelos

Los ensayos de laboratorio efectuados a las muestras de los estratos encontrados en la excavación, considerados como representativos del área del proyecto, han determinado la clasificación de suelos según SUCS permitiendo elaborar la sección de los suelos encontrados en el terreno. En general los materiales encontrados en el suelo del sitio propuesto, de acuerdo a la clasificación SUCS, se mencionan a continuación:

- ❖ SC : Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla
- ❖ CL : Arcillas arenosas con arcillas de baja plasticidad.
- ❖ SW: Arenas gravosas bien gradadas con pocos finos
- ❖ GP : Mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos

Los reportes de los ensayos de laboratorio correspondientes se encuentran en el anexo ensayos de laboratorio. La ubicación de las calicatas, plantas, secciones, espesores, clasificación SUCS y áreas se encuentran en el plano 08 del anexo planos. El Cuadro 1.3 resume los resultados de los ensayos de laboratorio realizados.

• Perfil del suelo

Según los datos de exploración mediante la excavación se ha podido determinar diferentes tipos de suelos, que se presentan en zonas definidas por la topografía y geomorfología.

Según las investigaciones de campo se ha encontrado tres estratos de diferentes tipos de suelos localizados en el terreno del proyecto.

| Cuadro 1.3 : Resultados de Laboratorio | | | | | | |
|--|----------|--------------------------|-----------------|----------------|-----------------|--------------------|
| Calicatas | Muestras | Contenido de Humedad (%) | Límite Plástico | Límite Líquido | Índice Plástico | Clasificación SUCS |
| C-1 | M-1 | 1.58 | 15.79 | 24.58 | 8.79 | CL |
| | M-2 | 1.58 | 16.15 | 26.24 | 10.09 | CL |
| | M-3 | 1.06 | N.P. | N.P. | N.P. | SC |
| C-2 | M-1 | 1.14 | 19.42 | 29.98 | 10.55 | SC |
| | M-2 | 1.23 | 17.6 | 23.01 | 5.4 | CL-ML |
| | M-3 | 0.55 | N.P. | N.P. | N.P. | SC |
| C-3 | M-1 | 1.28 | 16.38 | 22.6 | 6.22 | CL-ML |
| | M-2 | 1.05 | 12.5 | 20.65 | 8.15 | SC |
| | M-3 | 0.56 | N.P. | N.P. | N.P. | SW |

• **Estrato Superior**

Suelo superficial formado básicamente por arenas arcillosas o mezclas de arena y arcilla. Dentro de la clasificación SUCS viene a ser un SC. Son arenas con finos representados por arcillas de baja plasticidad, contenido de humedad intermedio, de consistencia intermedia con algunas partes sueltas, presenta a todo lo largo del tramo una potencia homogénea. Representa un volumen en corte de 8.50 m3 aproximadamente (ver plano 02 del anexo planos).

• **Estrato Intermedio**

Suelo formado básicamente por arcillas arenosas con arcillas de baja plasticidad y en ciertos sectores se observan arcillas limosas. Dentro de la clasificación SUCS viene ser un CL. Contenido de humedad intermedio, de consistencia densa, muy compacto. Este estrato posee la mayor potencia en comparación con los otro dos. Representa un volumen en corte de 21.11 m3 aproximadamente (ver plano 02 del anexo planos).

• Estrato Inferior

Suelo formado en la parte inicial y central del tramo por arenas gravosas bien gradadas con pocos finos; dentro de la clasificación SUCS vendría a ser un SW y en la parte final del tramo con mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos. Presenta un contenido de humedad bajo y consistencia suelta Representa un volumen en corte de 7.21 m³ aproximadamente (ver plano 02 del anexo planos).

b) Investigaciones Geotécnica-Segunda Etapa

En esta segunda etapa se ha realizado la implementación del suelo de baja capacidad portante. Para ello, se seleccionaron los suelos obtenidos de la excavación para ser utilizados ya sea como material para la subrasante, sub-base o relleno. Luego se construyó la poza de prueba, y en función de los resultados obtenidos del laboratorio para los materiales obtenidos de la excavación se realizaron los correspondientes ajustes para establecer las condiciones controladas de humedad y densidad del modelo, luego se realizaron los ensayos de campo de verificación y los ensayos finales de laboratorio que determinarán las características físico-mecánicas del material que se utilizara como subrasante. Finalmente, se implemento la subrasante de acuerdo a las condiciones encontradas en la poza de prueba y se realizaron los últimos ensayos de campo y laboratorio de verificación.

• Materiales obtenidos de la excavación

De la primera etapa, hemos obtenido tres tipos de suelos que los utilizaremos de la siguiente manera:

- ❖ Los suelos finos del estrato superior (dentro de la clasificación SUCS vendría a ser un SC) e intermedio (dentro de la clasificación SUCS vendría a ser un CL) en la obtención del suelo de baja capacidad portante. Es decir, utilizaremos la mezcla de ambos para la poza prueba y, por ende, en la generación de suelo degradado. Se tomaron muestras de estos suelos excavados para los respectivos ensayos de laboratorio.
- ❖ Los suelos de grano grueso del estrato inferior (dentro de la clasificación SUCS vendría a ser un SW), posiblemente, podrían utilizarse como material de sub-base y/o material de relleno de los paneles de geoweb que

constituirán el mejoramiento estructural de la subrasante de baja capacidad portante.

• Ensayos de Laboratorio

Con las muestras mezcladas de los suelos finos obtenidos de la excavación se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

| | |
|---|----------------|
| ❖ Relación de Soporte de California (CBR) | ASTM D-1883-87 |
| ❖ Proctor Modificado - Método "A" | ASTM D-1557-78 |
| ❖ Análisis granulométrico por tamizado | ASTM D-422 |
| ❖ Límite Líquido | ASTM D-423 |
| ❖ Límite Plástico | ASTM D-424 |
| ❖ Contenido de humedad | ASTM D-2216 |
| ❖ Peso Específico Relativo de Sólidos | ASTM D-854 |

• Análisis de los Resultados

En el Cuadro 1.4 se resumen todos los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados, correspondientes a la muestra M-1 del estrato superior; asimismo los reportes de los ensayos de laboratorio correspondientes se encuentran en el anexo ensayos de laboratorio.

El valor encontrado para el CBR de las muestras ensayadas resultó 4% el mismo que resulta relativamente alto sabiendo que buscamos un valor menor del 1% para el CBR, debido que estas son condiciones críticas de soporte de carga. Por tal motivo, se asumió un valor de densidad seca menor igual a 1.80 gr/cc para el cual se tuvo que determinar el valor correspondiente del CBR y del contenido de humedad. Para ello se trabajó con las gráficas de relación humedad – densidad y compactación – CBR generando una tercera gráfica que resulta de las proyecciones de las curvas a valores de densidad seca y CBR menores respectivamente, los resultados se indican en el Cuadro 1.5 y las gráficas se muestran en el anexo ensayos de laboratorios.

Ensayo de Compactación y Valor Relativo de CBR

| Muestra | MDS (gr/cc) | OCH (%) | CBR al 100% MDS (%) | CBR al 95% MDS (%) |
|---------|----------------|------------|---------------------------|--------------------------|
| M-1 | 2.16 | 9.00 | 5.00 | 4.00 |

Análisis Granulométrico y Límites de Atterberg

| Muestra | Límite Plástico | Límite Líquido | Índice Plástico | Clasificación SUCS |
|---------|--------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| M-1 | 23.40 | 32.89 | 9.49 | SC |

Contenido de Humedad y Peso Específico Relativo de Sólidos (Gs)

| Muestra | Contenido de Humedad | Gs |
|---------|----------------------------|------|
| M-1 | 3.74 | 2.70 |

Cuadro 1.4 : Resumen de Ensayos de Laboratorio

MDS : Máxima Densidad Seca.

OCH : Óptimo Contenido de Humedad.

El valor encontrado para el CBR de las muestras ensayadas resultó 4% el mismo que resulta relativamente alto sabiendo que buscamos un valor menor del 1% para el CBR, debido que estas son condiciones críticas de soporte de carga. Por tal motivo, se asumió un valor de densidad seca menor igual a 1.80 gr/cc para el cual se tuvo que determinar el valor correspondiente del CBR y del contenido de humedad. Para ello se trabajó con las gráficas de relación humedad – densidad y compactación – CBR generando una tercera gráfica

que resulta de las proyecciones de las curvas a valores de densidad seca y CBR menores respectivamente, los resultados se indican en el Cuadro 1.5 y las gráficas se muestran en el anexo ensayos de laboratorios.

| Cuadro 1.5 : Obtención de CBR | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|
| Densidad Seca (gr/cc) | Contenido de Humedad (%) | CBR (0.10") (%) | CBR (0.20") (%) |
| 1.80 | 15.60 | 0.85 | 1.55 |

Por otro lado, se puede verificar de los otros ensayos realizados que el suelo presenta similares características físico-mecánicas obtenidas en las correspondientes investigaciones geotécnicas de la primera etapa.

- **Determinación de las condiciones de humedad y densidad en la poza de prueba**

La poza de prueba consistió en una excavación de 1.00 m. x 1.00 m y 1.00 m. de profundidad construida cerca al área del proyecto. Se impermeabilizarán las paredes y el fondo para generar condiciones de permeabilidad nula en los límites y escaso drenaje. Además, se establecerán condiciones saturadas de humedad y se asumirá una densidad seca de 1.80 gr/cc. Con estas condiciones y los valores de las propiedades físicas indicados en el Cuadro 1-03 se realizaron los cálculos para la obtención del volumen de agua a colocar para lograr la saturación del volumen del material colocado en la poza. Se colocaron cuatro (04) capas de 0.20 m., realizándose los controles de densidad por capas. Se agregó el volumen de agua calculado y se esperó 24 horas para que la humedad se uniformice en toda la masa del suelo colocado. Se realizaron los ensayos de penetración *in-situ* con dos presurómetros y se tomó la densidad de campo con la muestra del anillo. Finalmente, se tomaron muestras inalteradas para los ensayos de CBR y comprensión simple confinada. De este último se obtienen el esfuerzo último (q_u) y la resistencia al corte sin drenaje (c). Estos últimos resultados de estos ensayos representan los parámetros geotécnicos para el diseño del pavimento granular con el sistema geoweb de soporte de carga. El resumen de estos resultados de los ensayos de laboratorio realizados se indica en el Cuadro 1.6

| Cuadro 1.6 : Resumen de Resultados Para el Diseño de Pavimentos | | | |
|---|---------|-------------|------------|
| Suelo o Material | CBR (%) | qu (Kg/cm2) | c (Kg/cm2) |
| Subrasante | 0.30 | 2.69 | 1.345 |

• **Implementación de la subrasante de baja capacidad portante**

Con las mismas condiciones y características modeladas en la poza prueba se procedió a implementar la subrasante de baja capacidad portante. La colocación de capas y los controles respectivos se hicieron de forma similar a lo ejecutado en la poza de prueba en una profundidad aproximada de 1.10 m. Se tomaron densidades de campo de las muestras de tres anillos. También se realizaron los ensayos para verificar las propiedades físicas y mecánicas del suelo colocado. El resumen de los ensayos de laboratorio realizados para esta parte del estudio se presenta en el Cuadro 1.7.

| Cuadro 1.7 : Resumen de Ensayos de Laboratorio | | | | |
|--|-----------------------|--------------------------|------|--------------------|
| Suelo o Material | Densidad Seca (gr/cc) | Contenido de Humedad (%) | Gs | Clasificación SUCS |
| Subrasante | 1.75 | 3.15 | 2.66 | CL |

Se puede verificar que los resultados son muy similares a los obtenidos anteriormente. Con los resultados del Cuadro 1.6 se calculó el volumen de agua para saturar el suelo colocado.

Luego se realizó sondajes de Penetración Dinámica Ligera (DPL) que a través de la relación existente entre el CBR y el Índice de Penetración Dinámico se verificó el valor del CBR utilizado para el diseño del pavimento granular.

• **Perfil del suelo**

Finalmente, el perfil del suelo que se ha generado para la cimentación del pavimento granular se presenta de la siguiente manera:

Estrato Superior, suelo superficial formado por mezclas de arenas arcillosas y arcillas de baja plasticidad. Condiciones de humedad saturadas, suelo confinado con impermeabilidad en sus límites, drenaje casi nulo, de consistencia blanda y en algunas partes suelta. Presenta a todo lo largo del tramo una potencia homogénea de 1.00 m. aproximadamente.

Estrato Intermedio, esta representado por el material geosintético utilizado para impermeabilizar la poza.

Estrato Inferior, suelo formado por mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos. Presenta un contenido de humedad bajo y consistencia suelta.

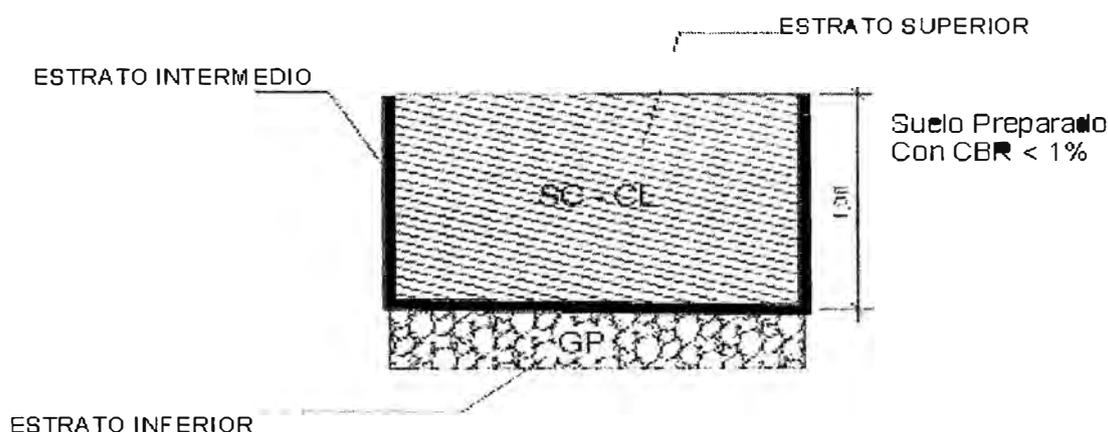


Figura 1.1 : Sección de Suelo

Determinación de la Profundidad del Nivel Freático

De acuerdo a las condiciones saturadas en la que se encuentra el suelo generado podemos suponer que el nivel freático se encuentra a profundidades muy cercanas a la superficie.

1.5 DEFINICIONES

A continuación se da algunas definiciones que serán usadas con frecuencia en el desarrollo de los siguientes capítulos.

• Afirmado

Capa de material granular, grava chancada por medios mecánicos y homogenizada, de tamaño máximo de 5.0 cm, que se coloca sobre la subrasante de un camino. Funciona como capa de rodadura y de soporte al tránsito en carreteras no pavimentadas. Estas capas pueden ser tratadas para su estabilización.

- **Calzada**

Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos.

- **Carril**

Franja longitudinal en que está dividida la calzada, destinadas a la circulación vehicular.

- **Sección transversal**

Representación gráfica de una sección ideal de corte transversal de la carretera por un plano vertical y normal a la proyección horizontal del eje, en un punto cualquiera del mismo (ver plano 06 del anexo II).

- **Nivel de Subrasante de camino**

Representación altimétrica (cota) de la superficie superior de la plataforma del camino sobre la que se construirá la estructura del afirmado.

- **Subrasante (capa)**

Capa superior de la plataforma del camino sobre la que se colocará la estructura de la superficie de rodadura.

- **Tramo**

Con carácter genérico, cualquier porción de una carretera, comprendida entre dos puntos referenciales, localizados a lo largo del trazo o eje del camino de características similares.

Con Carácter específico, cada una de las partes en el que se divide un itinerario, a efectos de gestión de proyectos. En general los extremos del tramo coinciden con puntos singulares, tales como poblaciones, intersecciones, cambios en el medio atravesado, ya sean de carácter topográfico o de utilización del suelo.

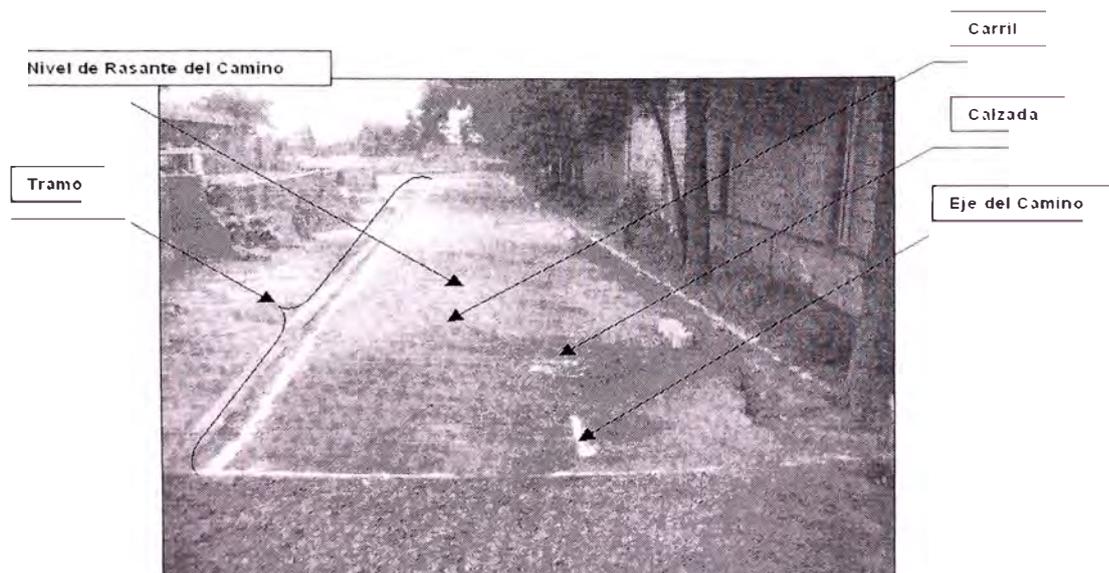


Figura 1.2 : Detalles de la Vía

- **Eje del Camino**

Línea que define el trazado en planta o perfil de una carretera, el eje está normalmente señalado en los planos del proyecto, en el centro de la calzada.

- **Nivel de Rasante del Camino**

Representación altimétrica (cota) de la línea que sigue el eje de una carretera terminada en el sentido longitudinal.

1.6 TOPOGRAFÍA Y TRAZO

El levantamiento comprende la planimetría y altimetría a lo largo del tramo a ejecutar (ver planos 01 y 05 del anexo II).

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Se diseñó una poligonal abierta de 04 vértices abarcando toda la longitud de dicho tramo en estudio, trasladando el BM (Cota = 108.255 m.) ubicado junto a la puerta principal de ingreso al Laboratorio de Hidráulica por la Facultad de Arquitectura.

La toma de los datos topográficos se realizó con la estación total marca Top Com modelo GTS 236W.

DETERMINACIÓN DEL EJE

De acuerdo a los requerimientos del estudio se procedió a efectuar un levantamiento topográfico, teniendo en cuenta las características del terreno; determinándose el eje de la vía.

Para este tramo de vía, el punto 0 + 000 está indicado en el cerco perimétrico del Laboratorio de Hidráulica que es paralelo al eje de la vía que está a 3.70 m. y 40.00 m de la puerta de ingreso vehicular. Siendo un tramo recto por el medio en toda su longitud.

TRAZO

Se ha realizado el trazo apoyado en el plano de construcción elaborado para el proyecto (ver fotografía 05 del anexo I).

CAPITULO II

DISEÑO DE PAVIMENTO – SISTEMA GEOWEB PARA UN PAVIMENTO CON COBERTURA GRANULAR

2.1 CRITERIOS Y MÉTODO DE DISEÑO

No existe un método de diseño único que abarque todas las aplicaciones del Geoweb como soporte de carga. Para el sistema Geoweb de pavimento granular, se ha desarrollado una metodología de diseño teórica, basada sobre métodos derivados empíricamente para el diseño de caminos no pavimentados sobre suelos blandos para vías con bajo volumen de tránsito. Falta todavía desarrollar métodos de diseño para los pavimentos flexibles, los cimientos ensanchados, y los pavimentos granulares con rellenos de materiales inestables. Sin embargo, fue justamente para este último caso que se inventó originalmente el sistema de Geoweb, y que se desarrolló y mostró ser efectivo, sobre todo con rellenos de arena.

Resultados recientes de pruebas triaxiales a la compresión, a gran escala, sobre las celdas de Geoweb con relleno de material granular, demuestran que el sistema Geoweb proporciona una cohesión de aproximadamente 150 kPa (3000 psf) al material confinado. Esa cohesión efectiva se agrega a la resistencia de fricción natural del material granular. En la actualidad, Presto está utilizando esta información para desarrollar procedimientos de diseño basados en la capacidad de carga, para las estructuras de Geoweb de soporte de carga, que tomen en cuenta esta resistencia adicional al corte proporcionada por la cohesión aparente. Estos procedimientos de diseño tendrán su aplicación en los casos de grandes cimientos ensanchados y de pavimentos granulares con materiales de relleno de baja calidad.

Así mismo la Universidad de Pretoria, el año 2005 (referencia bibliográfica N° 7) publicó una fórmula para el cálculo del aporte del Geoweb al esfuerzo horizontal de la siguiente forma:

$$\Delta\sigma_{3m} = \sigma_{3m0} + 0.75 \frac{M \cdot \sqrt{\epsilon_a}}{d_0} \dots\dots\dots(2.1)$$

$\Delta\sigma_{3m}$ = Aumento confinado de la tensión en relleno debido a la acción de la Geocelda

σ_{3m0} = Tensión confinada inicial causada por el Geocelda a la colocación del relleno alrededor del mismo.

- σ_a = Tensión axial de la muestra.
- M = Módulo de compresión de la Geocelda
- d_0 = Diámetro inicial de la muestra.

De igual forma el aporte de la cohesión al sistema de la siguiente forma:

$$c_r = \frac{\Delta\sigma_3}{2} \cdot \tan\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right) \dots\dots\dots(2.2)$$

- c_r = Cohesión equivalente que describe el aumento de la fuerza del material de relleno debido a la acción de tensión del aro de la geocelda confinada.
- $\Delta\sigma_3$ = Aumento de tensión confinada del material de relleno.
- ϕ' = Ángulo de fricción interna del material de relleno.

A continuación, se presenta un análisis de los métodos de diseño disponibles en la actualidad para los sistemas Geoweb de pavimentos granulares, así como los sistemas utilizados en el diseño de otras aplicaciones de soporte de carga con Geoweb.

2.2 PAVIMENTOS ASFALTICOS:

Los métodos convencionales de diseño de pavimentos asfálticos (eso es, AASHTO, Asphalt Institute, Caltrans, etc.) se basan todos sobre datos empíricos recolectados sea de pruebas viales de gran escala o sobre ensayos y monitoreo continuo del comportamiento del pavimento en diversas regiones geográficas. Los valores estructurales de los materiales que se utilizan convencionalmente en la construcción de carreteras (tales como piedra chancada, grava, concreto asfáltico, etc.), han sido determinados por los organismos federales y locales en base al comportamiento observado durante años de servicio.

Si bien muchos materiales nuevos (estabilizadores, geosintéticos, etc.) han sido introducidos en los últimos años para mejorar el valor estructural de los materiales de construcción convencionales, por ejemplo con el uso de polímeros - es difícil - y puede tomar varios años, obtener valores estructurales para estos componentes, que puedan utilizarse con los métodos de diseño existentes. Es por esa razón que aún no

existen valores estructurales, que puedan utilizarse con los métodos actuales de diseño de pavimento asfálticos con la inclusión del sistema Geoweb.

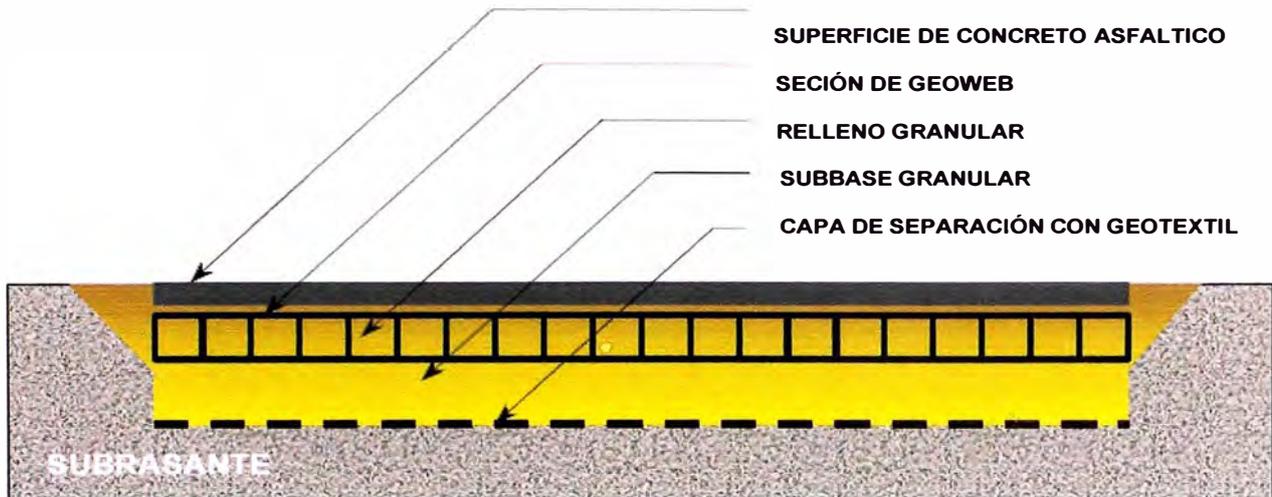


Figura 2.1 : Detalle de Pavimento Flexible (no estudiado a la fecha)

2.3 PAVIMENTOS GRANULARES PARA VIAS CON BAJO TRÁFICO:

El diseño de pavimentos granulares confinados con Geoweb (por ejemplo, para caminos de acceso), sobre suelos blandos, es relativamente directo y ha sido bien documentado para propósitos generales de diseño. Para detalles específicos sobre los datos necesarios y para los cálculos de diseño, refiérase a los acápites sobre Parámetros de Diseño – Pavimentos Granulares y Cálculos para el Diseño de Pavimentos Granulares.

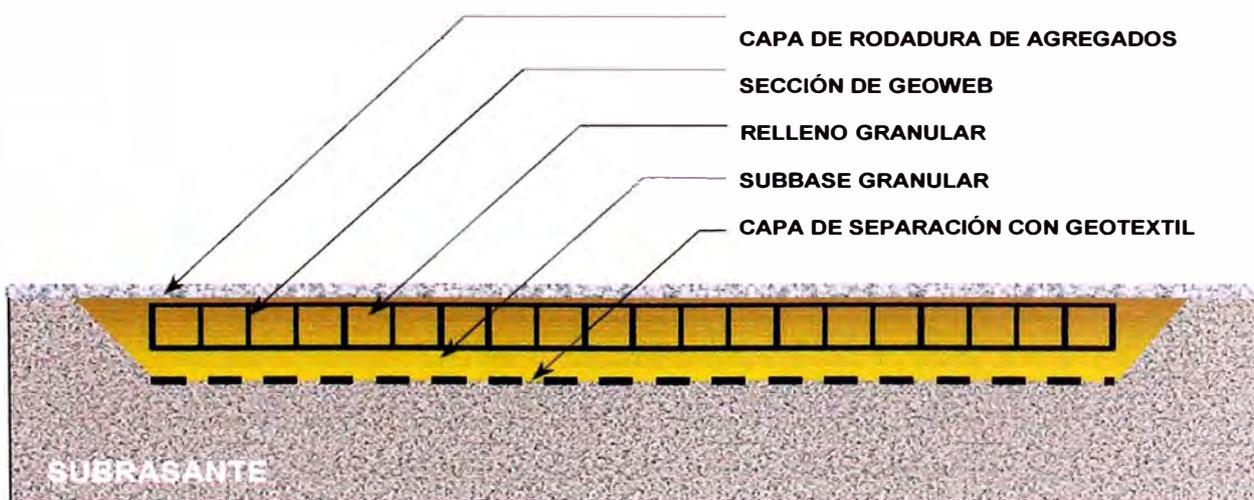


Figura 2.2 : Detalle de Pavimento Granular

- **Sistema Geoweb Texturizado**

Las fajas de polietileno diseñadas con una superficie texturizada, que se utilizan en la fabricación de las secciones de Geoweb aumentan la interacción de fricción entre las paredes de las celdas de Geoweb y los materiales de relleno granular. El aumento de la fricción entre las paredes de las celdas y el relleno proporciona ventajas estructurales en algunas aplicaciones del sistema Geoweb.

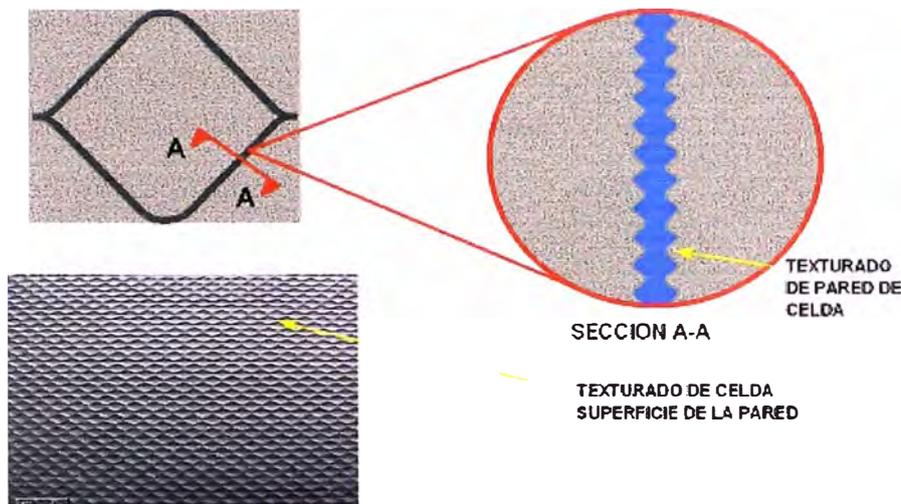


Figura 2.3 : Celdas Texturizada

En las aplicaciones como soporte de carga, al aumentar la fricción entre las paredes de las celdas y el relleno, aumenta también la resistencia del suelo de relleno a las deformaciones verticales en relación con la estructura celular. En consecuencia, se produce una transferencia más eficiente del esfuerzo vertical a las celdas vecinas. Esto a su vez se traduce en una reducción adicional del esfuerzo vertical sobre la subrasante en comparación con lo que ocurre con las celdas de Geoweb de paredes lisas. Para algunas combinaciones de cargas de ruedas y propiedades del material de relleno, la textura de la superficie de polietileno permite reducir el espesor total del pavimento granular en comparación con las celdas de paredes lisas.

Los resultados de las pruebas de corte directo a pequeña y gran escala, sobre rellenos de arena y de piedra con Geoweb texturizado han mostrado que la Relación de Coeficientes Máximos es, el coeficiente de fricción máximo de contacto del Geoweb texturizado dividido por el coeficiente de fricción máximo de contacto del relleno granular en aislamiento, varía entre 0.63 (piedra chancada) y 0.81 (arena gruesa) comparado con 0.64 (piedra chancada) y 0.61 (arena gruesa) con Geoweb liso. Hay que notar que con algunos rellenos de piedra chancada, la textura no aumenta la fricción en la superficie de contacto. No debe confundirse la Relación de

Coeficientes Máximos con la Relación de Ángulos de Fricción Máximos cuya definición se encuentra en el acápite sobre Angulo de Fricción Interna – Material de Relleno del Geoweb.

- **Sistema Geoweb Perforado**

Pruebas similares utilizando rellenos de arena y de piedra con el Geoweb perforado han demostrado que las características de fricción en la superficie de contacto son parecidas, o en algunos casos mejores, que con las celdas de Geoweb texturizadas. Específicamente, la Relación de Coeficientes Máximos del Geoweb perforado con relleno de piedra chancada y arena gruesa resultó ser de 0.75 y 0.89 respectivamente.

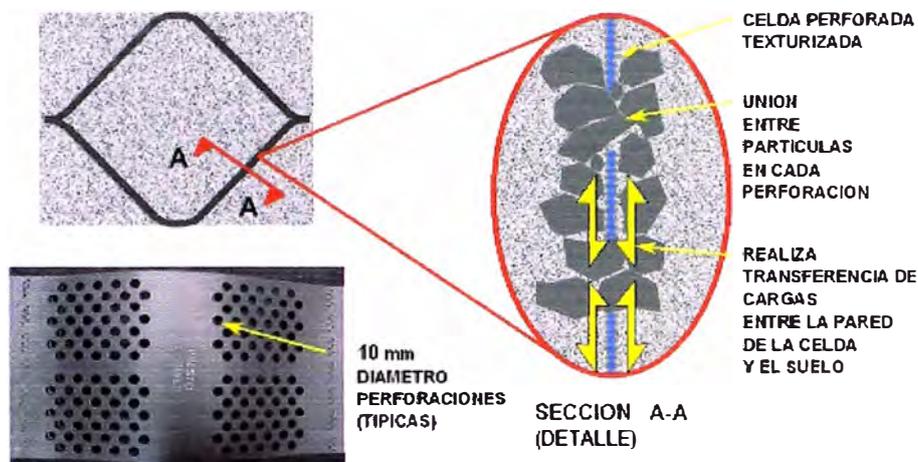


Figura 2.4 : Celdas Perforadas

Estos resultados indican que las paredes de celdas perforadas pueden aumentar la fricción de contacto en forma tan efectiva como las paredes texturizadas. En consecuencia, la capacidad estructural como soporte de carga del sistema Geoweb perforado relleno con algunas arenas o gravas es mayor que con el sistema Geoweb texturizado. Puesto que las perforaciones ofrecen además la ventaja del drenaje lateral, que es particularmente útil sobre subrasantes impermeables, se recomienda el sistema Geoweb perforado para numerosas aplicaciones de pavimento. Los valores del Cuadro 2.1 muestran lo ventajosas que resultan los sistemas con textura o perforación en las paredes de las celdas.

- **Materiales de Relleno**

Los materiales de relleno para las aplicaciones de soporte de carga con Geoweb deberían siempre ser predominantemente granulares con un tamaño máximo de partículas de 50 mm (2 pulg). Para resultados óptimos, la fracción de finos (materiales que pasan por la malla #200 - 75 μ m) no debe ser mayor de 10%. Los suelos con más

de 10% de finos son de baja permeabilidad y pierden toda resistencia cuando están mojados. Los materiales netamente granulares no se ven afectados por las fluctuaciones de humedad pero no son tan estables como los materiales granulares con un contenido de 5% a 10% de finos. Una pequeña fracción de finos aumenta la estabilidad al reducir la relación de vacíos y ligar el suelo.

El sistema Geoweb de confinamiento celular incrementa muy efectivamente la estabilidad de los rellenos granulares de baja calidad tales como arenas y gravas de graduación pobre. Con el confinamiento celular, pueden utilizarse los rellenos granulares de baja calidad como material superficial - o casi superficial - de los caminos de acceso donde la velocidad vehicular es relativamente baja y la comodidad del recorrido no tiene demasiada importancia. Para pavimentos con superficie granular donde las velocidades de recorrido son mayores y se requiere de una superficie de rodadura más suave, se recomienda el uso de agregados de mayor calidad. Generalmente, estos están constituidos por piedra chancada o gravas con un tamaño máximo de partículas de 40 mm (1.5 pulg) y menos de 8% en peso pasando por la malla #200. Para una durabilidad a largo plazo, la fracción del material grueso del agregado debe tener un desgaste menor de 50% en la prueba de Abrasión de Los Angeles. La fracción de finos (que pasan la malla #200) no debe ser mayor que dos tercios de la fracción que pasa por la malla #40, y el límite líquido de la fracción que pasa por la malla #40 no debe ser mayor de 25%. El índice de plasticidad debe ser inferior a 6%.

| Cuadro 2.1 : Espesor Total de una Base de Arena Gruesa o Grava, incluyendo la Sección de Geoweb | | | | | | |
|---|-----------------|----------|---|-------------------|-----------------|--------------------|
| CBR de Subrasante % | Carga de Ruedas | | Celda Lisa | Celda Texturizada | Celda Perforada | Grava no Confinada |
| | kN | (lbf) | Espesor Total Relativo de la Base de la Carretera | | | |
| 0.2 | 27 | (6,000) | 32% | 28% | 27% | 100% |
| | 53 | (12,000) | 59% | 25% | 25% | 100% |
| | 111 | (25,000) | 72% | 23% | 23% | 100% |
| | 222 | (50,000) | 80% | 22% | 22% | 100% |
| 0.5 | 27 | (6,000) | 46% | 40% | 40% | 100% |
| | 53 | (12,000) | 43% | 38% | 37% | 100% |
| | 111 | (25,000) | 40% | 35% | 34% | 100% |
| | 222 | (50,000) | 38% | 33% | 32% | 100% |
| 1.0 | 27 | (6,000) | 58% | 54% | 54% | 100% |
| | 53 | (12,000) | 55% | 49% | 48% | 100% |
| | 111 | (25,000) | 52% | 45% | 44% | 100% |
| | 222 | (50,000) | 49% | 43% | 42% | 100% |
| 2.0 | 27 | (6,000) | 81% | 81% | 81% | 100% |
| | 53 | (12,000) | 65% | 58% | 58% | 100% |
| | 111 | (25,000) | 59% | 52% | 51% | 100% |
| | 222 | (50,000) | 60% | 52% | 51% | 100% |

(Referencia: Presto Products Company, Documento Técnico, 2000)

2.4 PARAMETROS DE DISEÑO:

Para el diseño del sistema Geoweb de soporte de carga para pavimentos granulares, se requiere conocer la información y los parámetros siguientes:

- **Presión de Llanta**

La presión de llanta es la presión con la que está inflada la llanta de la carga de rueda de diseño, y es aproximadamente equivalente a la presión de contacto con el suelo. Se requiere un valor inicial para la determinación del radio efectivo de contacto de la carga de rueda de diseño.

Denominación: p

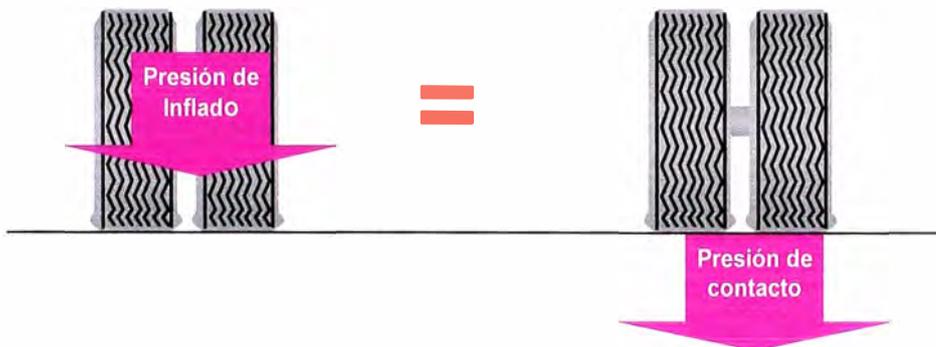


Figura 2.5 : Presión de Inflado Equivalente a Presión de Contacto

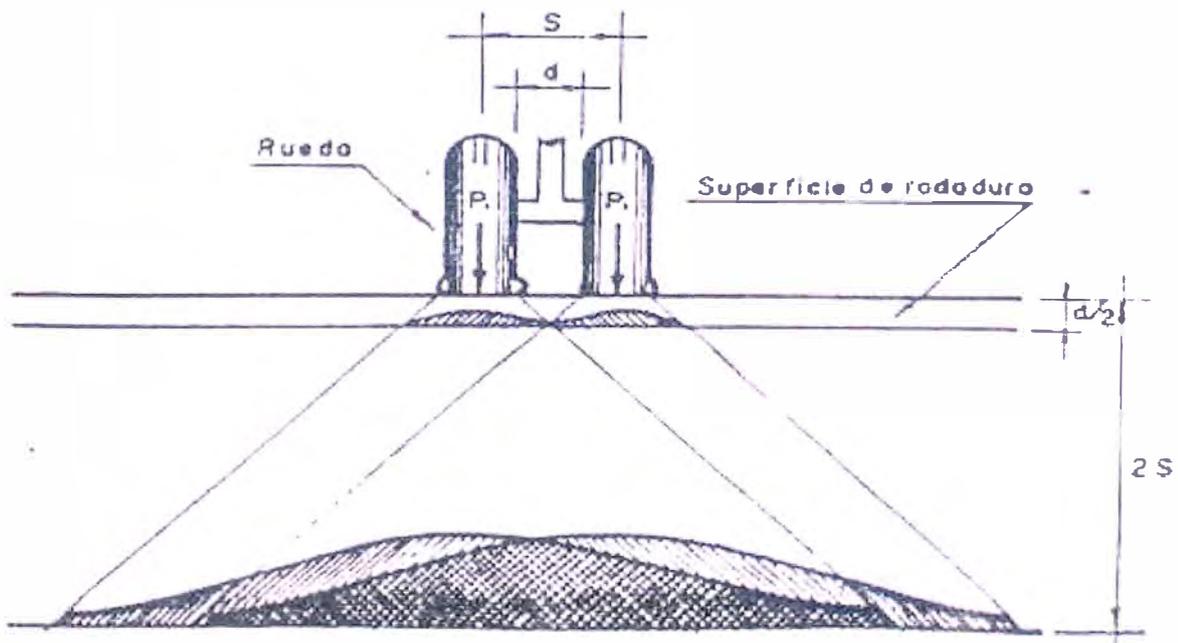


Figura 2.6 : Influencia del Sistema Dual Respecto a Esfuerzos

- **Capacidad de Carga y Coeficiente de Capacidad de Carga**

Los coeficientes de capacidad de carga son coeficientes determinados por métodos matemáticos o empíricos, utilizados en ecuaciones estándar para evaluar la capacidad portante de un suelo. Para caminos sin pavimentar (granulares) sobre suelos blandos cohesivos, el US Forest Service y otros organismos han determinado los coeficientes de capacidad de carga para el cálculo de la capacidad portante de los suelos sujetos a carga dinámica donde la falla al esfuerzo cortante de penetración (local) prevalece más que la falla al esfuerzo cortante general. El US Forest Service (referencia bibliográfica N° 6) ha desarrollado los siguientes coeficientes de capacidad de carga para los caminos de acarreo no pavimentados, para dos amplios rangos de cargas de tráfico.

Nc = 2.8 Alto volumen de tránsito con pocos baches (> 1000, < 10000 pasadas)

Nc = 3.3 Bajo volumen de tránsito con muchos baches (< 1000 pasadas)

- **Profundidad hasta la Parte Superior de la Sección de Geoweb**

La profundidad a la que se coloca la capa de Geoweb influye en la distribución de los esfuerzos a través del sistema y tiene un efecto significativo sobre el diseño. Como los esfuerzos verticales son mayores cerca de la superficie, se obtiene un rendimiento óptimo y una reducción máxima del espesor, colocando el Geoweb lo más cerca posible a la superficie. Sin embargo, con el fin de proteger la parte superior de las paredes de las celdas, se recomienda generalmente una capa de rodadura de agregados de 25 mm a 50 mm (1 pulg - 2 pulg) de espesor.

Profundidad hasta la parte superior de la sección de geoweb = Z_t

- **Resistencia de la Subrasante**

Existen varios métodos de prueba en laboratorio y en el campo para determinar la resistencia de los suelos de subrasante para fines de diseño. Para los cálculos, la resistencia del suelo debe expresarse en términos de resistencia al corte o cohesión. La resistencia al corte puede determinarse en el campo mediante el ensayo de veleta, o en laboratorio por el ensayo de corte directo o la prueba de compresión triaxial. Se

determina también con frecuencia mediante el Ensayo de Penetración Normal y la prueba del CBR (California Bearing Ratio – Relación de Soporte de California). Para suelos cohesivos, la resistencia al corte puede estimarse a partir de la resistencia normal a la penetración (N), o del CBR (Relación de Soporte de California). En ausencia de datos de ensayos de campo o de laboratorio, la resistencia del suelo de subrasante puede estimarse por su consistencia (ver lo relacionado con Identificación en el Campo en la Cuadro 2.4). Para estimar la resistencia de un suelo por su consistencia, la muestra debe tomarse de una calicata con la profundidad suficiente para asegurar que las propiedades del suelo no han sido afectadas por alguna variación de las condiciones de la superficie (p. ej., agua de lluvia, clima seco y caliente, etc.).

A continuación se describe brevemente los ensayos más comunes para determinar la resistencia de los suelos de subrasante.

- **Ensayo del CBR (Relación de Soporte de California)**

El ensayo del CBR o Relación de Soporte de California es una prueba índice utilizada para determinar la resistencia relativa de un suelo (capacidad portante) comparado con un material estándar de piedra chancada de alta calidad. La muestra de prueba se prepara compactando una muestra de suelo mediante golpes múltiples, dentro de un cilindro de 6 pulgadas de diámetro, aplicando una sobrecarga en forma de placas circulares a fin de aproximar el esfuerzo de confinamiento del pavimento final sobre el suelo; luego, se deja remojar la muestra entera por un período de 4 días. La prueba consiste en hincar esta muestra de suelo con un pistón circular de 3 pulgadas cuadradas (1935 mm²), a través de orificios en las placas de carga, a razón de 0.10 pulg (2.54 mm) /minuto hasta un máximo de 0.50 pulg (13 mm).

| Cuadro 2.2 : Cargas Unitarias para el Material de Piedra Chancada | |
|--|----------|
| Penetración - 0.1 pulg | 1000 psi |
| Penetración - 0.2 pulg | 1500 psi |
| Penetración - 0.3 pulg | 1900 psi |
| Penetración - 0.4 pulg | 2300 psi |
| Penetración - 0.5 pulg | 2600 psi |

El valor del CBR es la relación entre la carga unitaria a 0.10 pulg (2.54 mm) ó 0.20 pulg (5.04 mm) y la de un material de piedra chancada estándar a la misma

profundidad de penetración (se escoge el valor mayor). Las cargas unitarias están dadas en el Cuadro 2.2.

- **Ensayo Estándar de Penetración y Penetración Dinámica**

El ensayo normal de penetración proporciona una indicación de la densidad, así como del ángulo de fricción interna, de los suelos sin cohesión, y de la resistencia al corte de los suelos cohesivos. El ensayo consiste en introducir en el suelo un sacamuestras en forma de cuchara partida longitudinalmente, equipada con una zapata cortante y enroscada al extremo de una barra de sondeo, dejando caer un martillo de 140 lb (63.6 kg) sobre una distancia de 30 pulgadas (0.76 m). El sacamuestras en forma de cuchara partida consiste en un tubo de acero de pared gruesa, partido longitudinalmente, que se utiliza para obtener muestras de suelo no disturbado de las perforaciones. Se registra el número de golpes requeridos para cada penetración de 6 pulgadas (150 mm) de la cuchara. La resistencia normal a la penetración es la suma de los golpes necesarios para el segundo y tercer incremento de 6 pulgadas (150 mm) y se expresa como N en golpes/pie (golpes/300 mm).

- **Ensayos de Resistencia al Corte**

La resistencia al corte de un suelo es el esfuerzo para el cual el suelo falla en corte. Puede calcularse dividiendo la fuerza cortante para la que falla el suelo por el área de la sección transversal del corte o, si se conocen la cohesión y el ángulo de fricción interna, por la ecuación general de Coulomb:

$$S = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots(2.3)$$

Donde:

- c** es la cohesión (o atracción entre partículas) del suelo, expresada en términos de fuerza por unidad de área
- σ** es la presión de sobrecarga en términos de fuerza por unidad de área
- ϕ** es el ángulo de fricción interna del suelo (resistencia al deslizamiento entre partículas) en grados.

Los suelos granulares no poseen cohesión y por lo tanto su resistencia al corte está determinada por la presión de la sobrecarga, lo que explica la inestabilidad inherente

de la superficie de los pavimentos de material granular. En el caso de suelos cohesivos no drenados (como las arcillas blandas y saturadas), al no tener éstos fricción interna, su resistencia al corte viene determinada por la cohesión, la que puede variar con el contenido de humedad. Los suelos cohesivos con drenaje pueden tener tanto cohesión como fricción interna.

La resistencia al corte de los suelos granulares puede medirse en laboratorio mediante el ensayo de corte directo. La cohesión y el ángulo de fricción interna de los suelos cohesivos pueden medirse en laboratorio, en condiciones con y sin drenaje, por los ensayos de compresión triaxial. En el campo, la resistencia al corte puede medirse mediante el ensayo de veleta. Para mayor información sobre la resistencia al corte de los suelos y sobre los métodos de ensayo, refiérase a la literatura de mecánica de suelos o de ingeniería geotécnica.

- **Angulo de Fricción Interna – Material Granular de Relleno del Geoweb**

El ángulo de fricción interna de un suelo granular sin cohesión se puede determinar midiendo el esfuerzo cortante máximo de falla para un rango de esfuerzos normales (o presiones de confinamiento) y ploteando los resultados en un gráfico. El ángulo formado por la línea recta que, pasando por el origen, más se aproxima a los resultados, con el eje horizontal, es una buena aproximación del ángulo de fricción interna. Véase Figura 2.7. Para material granular compactado, el ángulo de fricción interna está típicamente en el rango de 30° a 40°.

A mejor calidad del material granular (en función de su angulosidad, graduación, dureza, etc.), mayor ángulo de fricción interna.

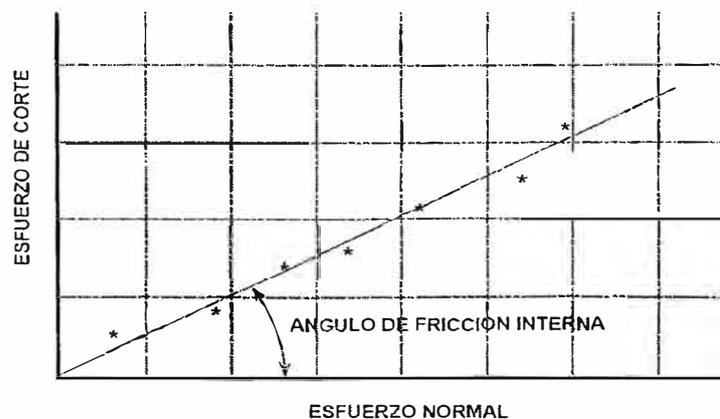


Figura 2.7 : Angulo de Fricción Interna

- **Relación entre Pared de la Celda de Geoweb/Ángulo de Fricción Interna del Relleno**

La relación pared de la celda de Geoweb/ángulo de fricción interna del material de relleno, es la relación del ángulo de resistencia al corte entre el material de relleno y la pared de la celda Geoweb sobre el ángulo máximo de fricción del material de relleno aislado. Varía en función de la graduación y de la angulosidad de las partículas del material de relleno y de la rugosidad de la pared de la celda o del tamaño y espaciamiento de las perforaciones en dichas paredes.

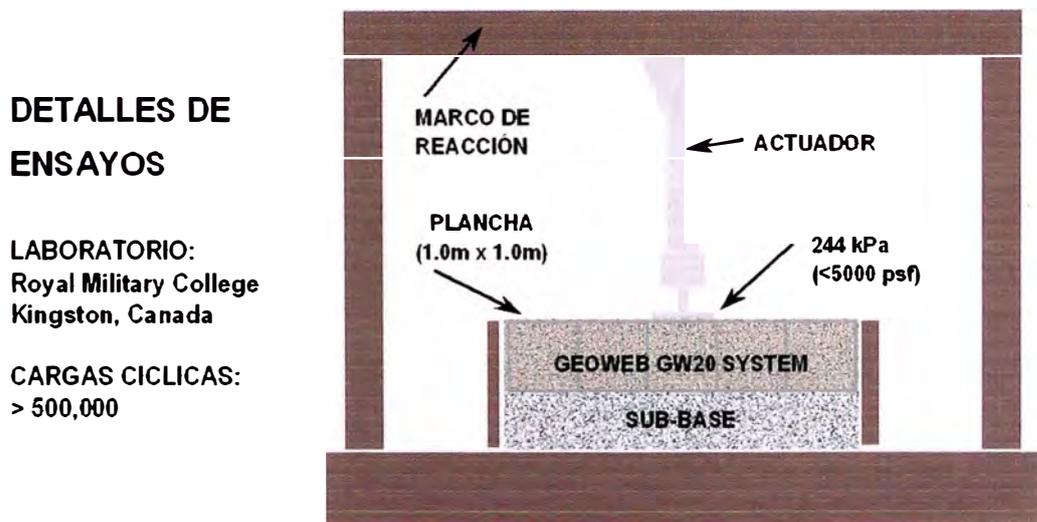


Figura 2.8 : Ensayo de Cargas Cíclicas de Pavimento Granular

Se han realizado ensayos de corte directos a fin de determinar los ángulos de resistencia al corte entre las paredes de celdas de Geoweb con tratamiento estándar y varios materiales granulares de relleno comunes. Los resultados fueron expresados en términos de relación máxima de los ángulos de fricción (o Relación Pared de la Celda Geoweb/Ángulo de Fricción del Relleno), donde la Relación Máxima del Ángulo de Fricción se define como el ángulo de resistencia al corte entre el relleno granular y la pared de la celda Geoweb dividido por el ángulo máximo de fricción del material de relleno en aislamiento. Los valores de la Relación Pared de la Celda Geoweb/Fricción del Relleno para las paredes de Geoweb con tratamiento estándar y materiales granulares compactados están dados en el Cuadro 2.3. Estos valores son los que se utilizaron en el cálculo de las relaciones del Cuadro 2.1 y del espesor de la base en el Cuadro 2.5.

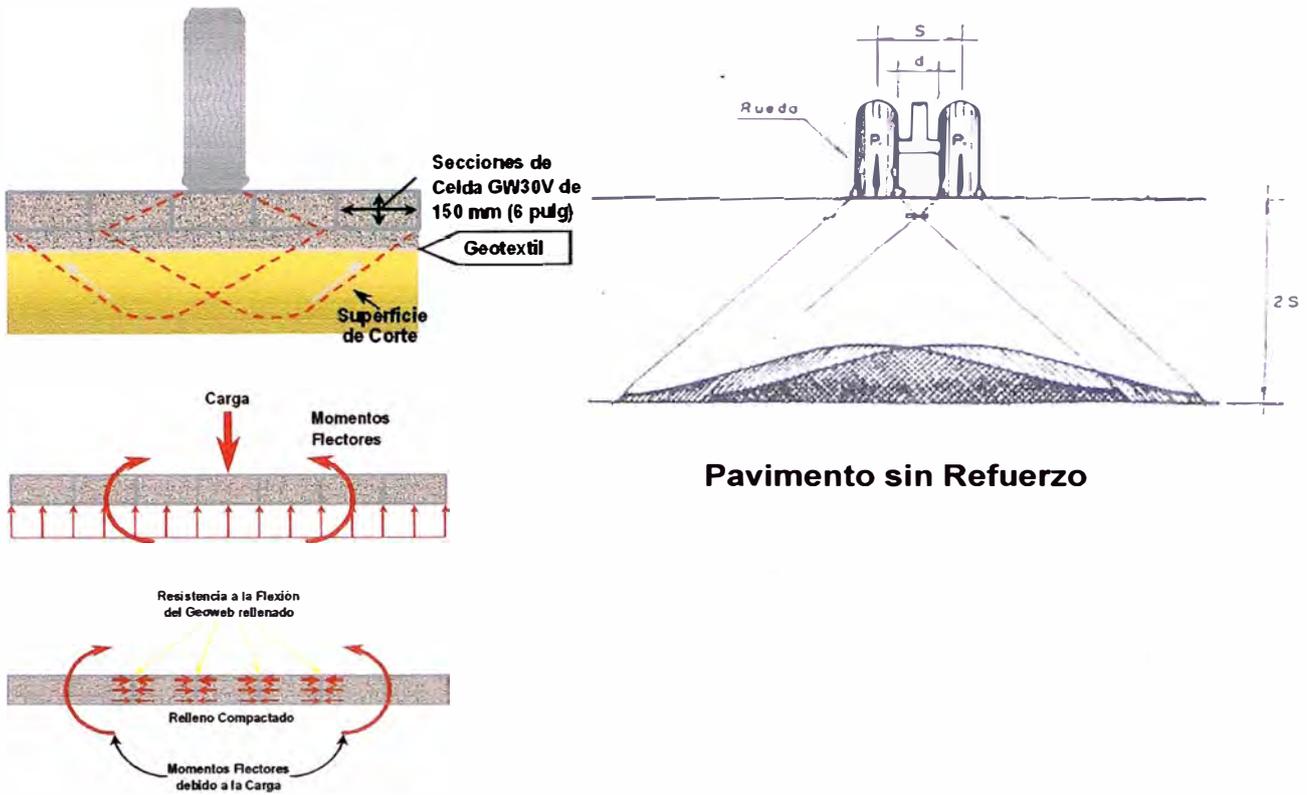
Cuadro 2.3 : Relación Máxima de Ángulo de Fricción Recomendada

| Material de Relleno Granular | Tipo de Pared de Celda | $r = \delta/\phi$ |
|------------------------------|-------------------------|-------------------|
| Arena Gruesa / Grava | Lisa | 0.71 |
| | Texturizada | 0.88 |
| | Texturizada / Perforada | 0.90 |
| Arena Silícica #40 | Lisa | 0.78 |
| | Texturizada | 0.90 |
| | Texturizada / Perforada | 0.90 |
| Piedra Chancada | Lisa | 0.72 |
| | Texturizada | 0.72 |
| | Texturizada / Perforada | 0.83 |

(Referencia: Presto Products Company, Documento Técnico, 2000)

2.5 CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS GRANULARES:

Se presentan a continuación los procedimientos y cálculos de diseño para determinar el espesor necesario de la capa de agregados para los pavimentos con superficie de rodadura granular (por ejemplo, para el caso de caminos de acceso o de acarreo), con y sin el sistema Geoweb de confinamiento celular. Se utilizan primero los coeficientes de capacidad portante deducidos en forma empírica para determinar el esfuerzo máximo permisible sobre una subrasante con resistencia al corte conocida o estimada. El esfuerzo máximo permisible es el esfuerzo que provocaría una falla localizada de la subrasante por corte o penetración bajo condiciones de carga continua. Como las cargas sobre los pavimentos granulares son transitorias, el esfuerzo efectivo sobre el suelo es generalmente mayor de lo que sería bajo una carga estática. Por lo tanto, para efectos de diseño, se toma este esfuerzo máximo permisible como esfuerzo límite. Se aplica luego la teoría de Boussinesq para determinar el espesor de la capa granular debajo de la carga de rueda necesario para no sobrepasar el esfuerzo máximo permisible. Los cálculos que se presentan a continuación son para caminos de bajo volumen de tránsito donde se permiten deformaciones pequeñas o para el diseño de capas de pavimento de subbase sobre suelos blandos. No son para el diseño de estructuras de pavimento flexible con capa de rodadura pavimentada. Estos cálculos sólo son validos para el diseño de pavimentos granulares sobre subrasantes de suelo cohesivo con valores del CBR menores a 5.



Pavimento con Refuerzo de GEOWEB

Figura 2.9 : Pavimento con y sin Geoweb

Nombre de las Variables

- cu** : Resistencia al corte de la subrasante (Kpa)
- Nc** : Coeficiente de capacidad de carga – basado en el volumen de tránsito de diseño – ver más adelante
- P** : Carga de rueda de diseño (KN)
- P** : Presión de contacto (Kpa)
- r** : Relación máxima del ángulo de fricción Pared de Celda Geoweb/Relleno
- δ : Angulo de resistencia al corte entre el relleno granular y la pared de celda Geoweb (Grado Sexagesimales)
- ϕ : Angulo de fricción interna del material de relleno del Geoweb (Grados Sexagesimales)
- Zt** : Espesor desde la superficie hasta la parte superior de las paredes de celdas Geoweb (m.)
- Zb** : Espesor desde la superficie hasta la parte inferior de las paredes de celdas Geoweb (m)

• **Cálculos**

Determinar la resistencia al corte de la subrasante. Verificar en la Tabla 4 si la resistencia de la subrasante está registrada en términos de la Resistencia Normal a la Penetración, CBR, o Identificación en el Campo.

Determinar q_a , el máximo esfuerzo permisible sobre la subrasante.

$$q_a = N_c c_u \dots\dots\dots(2.4)$$

Donde:

NC = 2.8 (alto volumen de tránsito, pocos baches – según las normas del U.S. Forest Service)

NC = 3.3 (bajo volumen de tránsito, muchos baches – según las normas del U.S. Forest Service)

Determinar el espesor, z_u , requerido para el pavimento granular sin el sistema Geoweb de confinamiento celular mediante la siguiente ecuación (ecuación de Boussinesq para la estimación del esfuerzo vertical a una profundidad dada debajo de un peso circular, transformada para calcular el espesor del revestimiento encima de un esfuerzo vertical dado, Q_a).

Donde R = Radio del área cargada (o radio efectivo de llantas simples o dobles)

$$z_u = \frac{R}{\sqrt{\left(1 - \frac{q_a}{p}\right)^{2/3} - 1}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$R = \sqrt{\frac{P}{p\pi}} \dots\dots\dots(2.6)$$

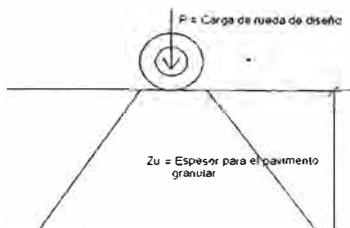


Figura 2.10 : Carga y Esfuerzo

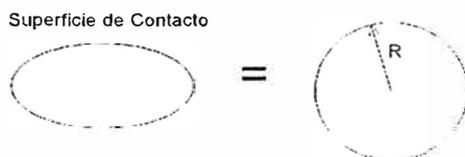


Figura 2.11 : Superficie de Contacto

$$P = p \times A$$

$$P = p \times (\pi R^2)$$

$$R = \sqrt{\frac{P}{p \pi}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Determinar el espesor requerido para el pavimento granular, zG, con el sistema Geoweb de confinamiento celular.

| Cuadro 2.4 : Correlación de los Parámetros de Resistencia del Suelo de Subrasante para Suelos Cohesivos (de granos finos) | | | |
|---|--|---|--|
| Relación de Soporte de California CBR (%) | Resistencia al Corte sin Drenaje c _u kPa (psi) | Resistencia Normal a la Penetración SPT (golpes/pie) | Identificación de Campo |
| < 0.4 | < 11.7 (1.7) | < 2 | Muy blando (se estira entre los dedos al presionarlo) |
| 0.4 - 0.8 | 11.7 - 24.1 (1.7) - (3.5) | 2 - 4 | Blando (moldeable con una ligera presión de los dedos) |
| 0.8 - 1.6 | 24.1 - 47.6 (3.5) - (6.9) | 4 - 8 | Mediano (moldeable con una fuerte presión de los dedos) |
| 1.6 - 3.2 | 47.6 - 95.8 (6.9) - (13.9) | 8 - 15 | Rigido (fácilmente marcado por el pulgar pero difícil de penetrar) |
| 3.2 - 6.4 | 95.8 - 191 (13.9) - (27.7) | 15 - 30 | Muy rígido (fácilmente marcado por la uña del pulgar) |
| > 6.4 | > 191 (27.7) | > 30 | Duro (difícil de marcar con la uña del pulgar) |

(Referencia: Alter Portland Cement Association, E.I. DuPort Literatura and McCarthy F., "Essentials of Soil Mechanics and Foundation, 1977)

El espesor total de pavimento granular requerido con el sistema Geoweb de confinamiento celular es función de la profundidad de las celdas de Geoweb, de la distancia a la que están colocadas debajo de la carga aplicada, de la carga de rueda y la presión de las llantas, y de las propiedades del material de relleno. El esfuerzo superficial (eso es, la presión de contacto de las ruedas) se distribuye tanto vertical como horizontalmente a través de la estructura celular del Geoweb. Los esfuerzos horizontales, a su vez, son convertidos a esfuerzos de resistencia verticales a lo largo de las paredes de las celdas, reduciendo el esfuerzo vertical total directamente debajo del centro del área cargada. Se calcula el esfuerzo de resistencia total proporcionado por la estructura celular del Geoweb y se le agrega al esfuerzo máximo permisible de la subrasante para determinar el espesor total del pavimento granular requerido con el sistema Geoweb de confinamiento celular.

El primer paso consiste en seleccionar la profundidad de colocación, z_t , de la sección de Geoweb dentro de la estructura del pavimento granular. Ya que los esfuerzos verticales son mayores cerca de la superficie, se obtiene un comportamiento óptimo y una máxima reducción del espesor colocando el Geoweb tan cerca de la superficie como sea posible. Sin embargo, para proteger la parte superior de las paredes de las celdas de Geoweb, se recomienda generalmente una superficie de rodadura de agregados de 25 mm a 50 mm (1 pulg a 2 pulg).

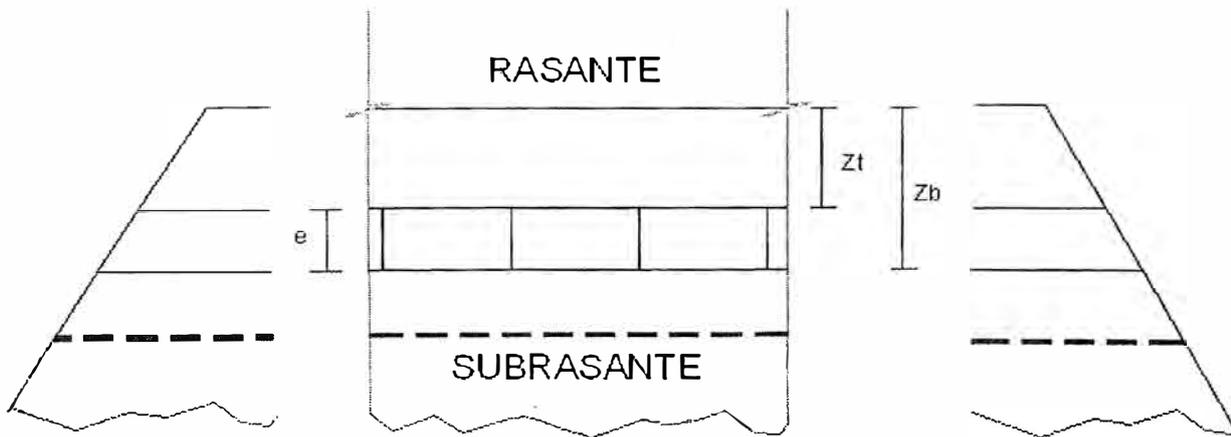


Figura 2.12 : Sección y Profundidades

Después de seleccionar una profundidad de colocación de prueba, calcular el esfuerzo vertical, σ_{vt} , en la parte superior de la sección de Geoweb mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{vt} = p \left[1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{R}{z_t} \right)^2} \right]^{3/2} \dots\dots\dots(2.8)$$

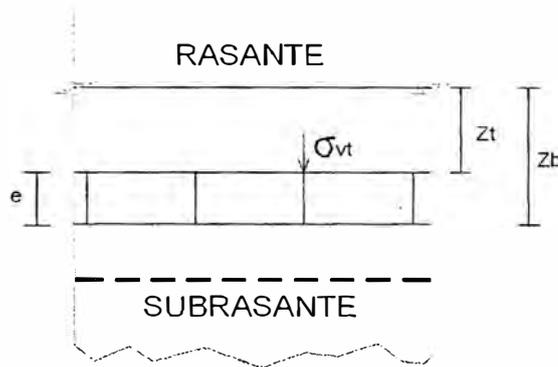


Figura 2.13 : Esfuerzo Parte Superior Geoweb

Luego, calcular el esfuerzo vertical, σ_{vb} , en la parte inferior de la sección de Geoweb. La profundidad, Z_b , del fondo de la sección es igual a la profundidad z_t de la parte superior más el espesor (o profundidad) de la sección de Geoweb.

$$Z_b = Z_t + e \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\sigma_{vb} = p \left[1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{R}{z_b} \right)^2} \right]^{3/2} \dots\dots\dots(2.10)$$

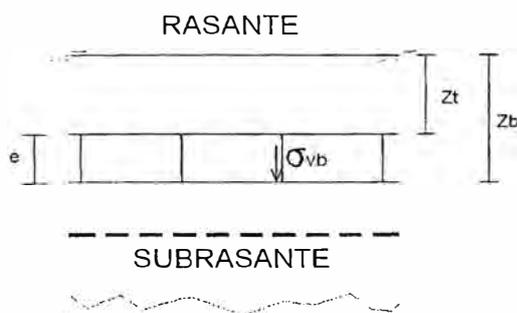


Figura 2.14 : Esfuerzo Parte Inferior Geoweb

Calcular el esfuerzo horizontal arriba, σ_{ht} , y al fondo, σ_{hb} , de la sección de Geoweb utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_h = K_a \sigma_v \dots\dots\dots(2.11)$$

donde K_a es el coeficiente de presión activa del suelo.

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \dots\dots\dots(2.13)$$

Esfuerzo horizontal en la parte superior de la sección de Geoweb, σ_{ht} :

$$\sigma_{ht} = K_a \sigma_{vt} \dots\dots\dots(2.14)$$

Esfuerzo horizontal en la parte inferior de la sección de Geoweb, σ_{hb} :

$$\sigma_{hb} = K_a \sigma_{vb} \dots\dots\dots(2.15)$$

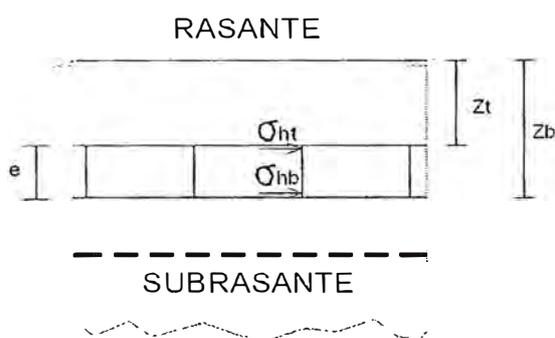


Figura 2.15 : Esfuerzo Horizontales Geoweb

Determinar luego el esfuerzo horizontal promedio sobre las paredes de las celdas de Geoweb, de la siguiente manera:

$$\sigma_{avge} = \frac{(\sigma_{ht} + \sigma_{hb})}{2} \dots\dots\dots(2.16)$$

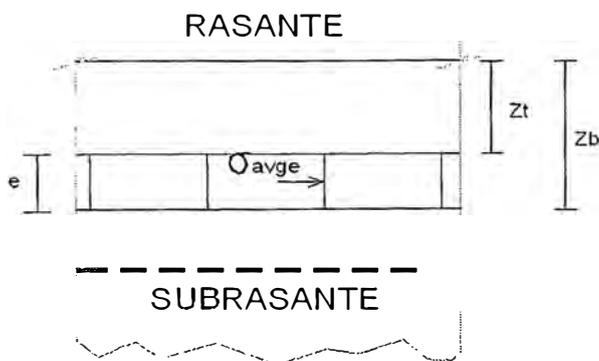


Figura 2.16 : Esfuerzo Horizontal Promedio Geoweb

Luego, calcular σ_r (reducción del esfuerzo)

Donde:

- H : Profundidad de celda de Geoweb en mm (pulg)
- D : Diámetro efectivo de las celdas Geoweb = 190 mm (7.5 pulg)
- δ : Angulo de resistencia al corte entre el material granular de relleno y las paredes de las celdas de Geoweb.
- $\delta = r\phi$ (obtener los datos de ensayo o estimar r con la Tabla 3)

σ_r = reducción del esfuerzo directamente debajo del centro del área cargada producida por la transferencia de esfuerzo a las paredes de las celdas de Geoweb

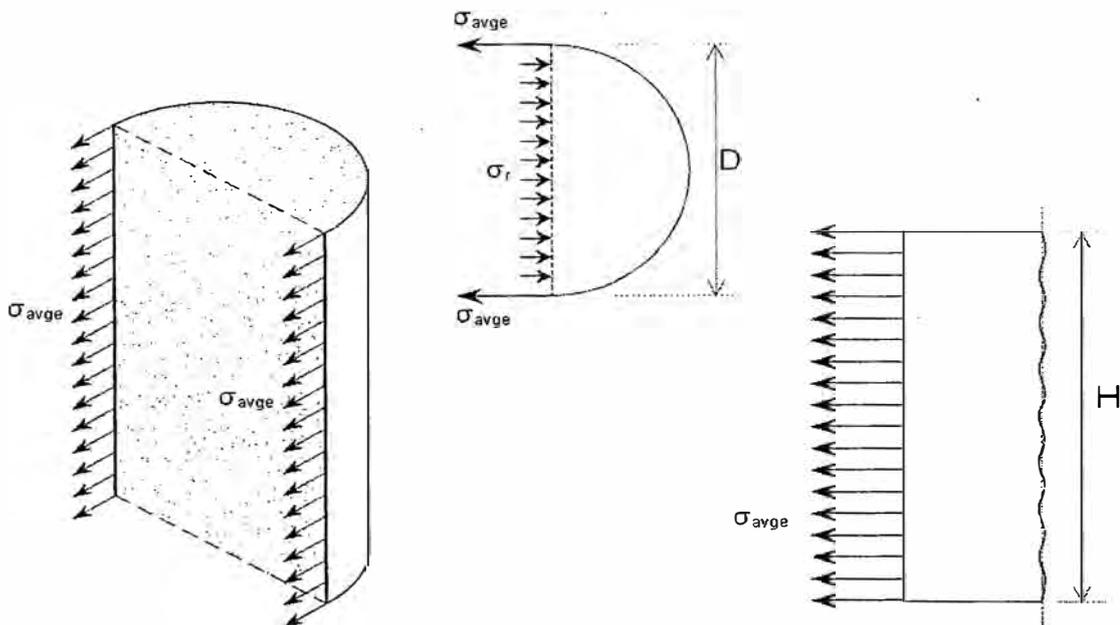


Figura 2.17 : Considerando la Geocelda como un Cilindro

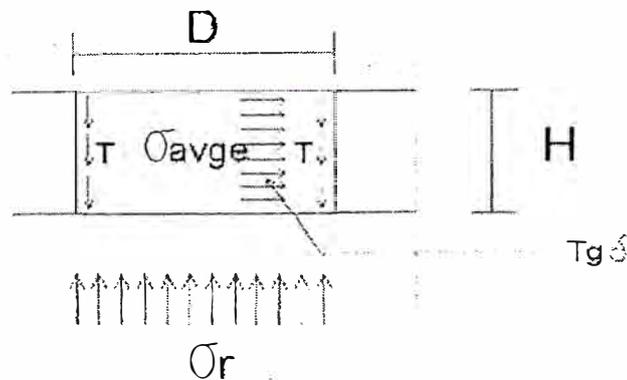


Figura 2.18 : Esfuerzos en Geoweb

Por sumatoria de esfuerzos se obtiene:

En el sentido vertical: $\sigma_r \times D = 2 \times T \times H$ Por otro lado: $T = \sigma_{avge} \times Tg \delta$

$$\sigma_r \times D = 2 \times H \times \sigma_{avge} \times Tg \delta$$

utilizando la siguiente ecuación: $\sigma_r = 2 \left(\frac{H}{D} \right) \sigma_{avge} \tan \delta$ (2.17)

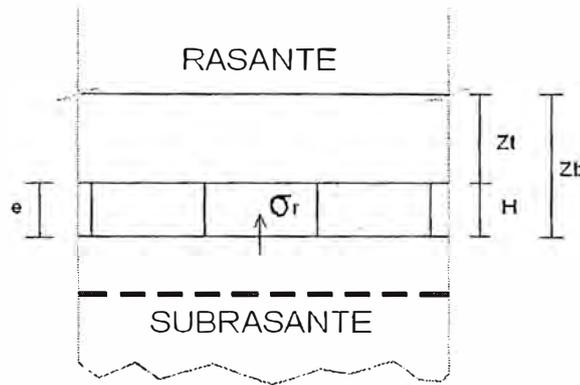


Figura 2.19 : Esfuerzo Vertical Geoweb

Determinar el esfuerzo permisible de diseño, q_G , sobre la subrasante con el sistema Geoweb de confinamiento celular, utilizando la siguiente ecuación:

$$q_G = q_a + \sigma_r$$
(2.18)

Determinar el espesor total requerido para el pavimento granular, Z_G , con el sistema Geoweb de confinamiento celular.

$$z_G = \frac{R}{\sqrt{\left(1 - \frac{q_G}{p}\right)^{2/3}} - 1}$$
(2.19)

Si el espesor total requerido es mayor que el espesor de la capa superficial (eso es, espesor hasta la parte superior de la sección de Geoweb, más el espesor de la sección de Geoweb), entonces se requiere de una capa de subbase. El espesor de esta capa de subbase debe ser igual al espesor total requerido menos el espesor de la capa superficial y el de la sección de Geoweb.

DISEÑO DE PAVIMENTOS GRANULARES (CON DOS SECCIONES DE GEOWEB)

PROYECTO : Pavimento de Prueba - Laboratorio de Hidráulica

TRAMO : 02

FECHA : Mayo 2007

DATOS DE ENTRADA:

| | | | |
|--|---------|--------|-----|
| Cu= Resistencia al corte de la subrasante | CBR 0.3 | 8.60 | kPa |
| Nc= Coeficiente de capacidad de carga - basado en el volumen de tránsito de diseño | | 2.8 | |
| P= Carga de la rueda de diseño (MTC - C3 - Eje simple 7 Tn y Eje tandem 18 Tn) | 4.5 Tn. | 44.13 | KN |
| p= Presión de contacto | 90 psi | 620.53 | kPa |
| r= Relación Maxima del Angulo de fricción Pared de Celda Geoweb/Relleno | | | |
| δ= Angulo de resistencia al corte entre el relleno granular y la pared de celda Geoweb | | | |
| z ₁ = Espesor desde la superficie hasta la parte superior de las paredes de celdas de geoweb 01 | | 0.05 | m. |
| z ₂ = Espesor desde la superficie hasta la parte inferior de las paredes de celdas de geoweb 01 | | 0.20 | m. |
| z ₃ = Espesor desde la superficie hasta la parte superior de las paredes de celdas de geoweb 02 | | 0.25 | m. |
| z ₄ = Espesor desde la superficie hasta la parte superior de las paredes de celdas de geoweb 02 | | 0.40 | m. |
| φ= Angulo de fricción interna del maerial de relleno del Geoweb | | 36.70 | |

Cálculos:

$$Cu = 8.60 \text{ kPa}$$

Determinar la resistencia al corte de la subrasante (verificar cuadro 3.4)

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

DETERMINAR EL MAXIMO ESFUERZO PERMISIBLE SOBRE LA SUBRASANTE

$$q_a = N_c c_u$$

Donde:

N_c = 2.8 (alto volumen de tránsito, pocos baches - según las normas del U.S. Forest service)

N_c = 3.3 (bajo volumen de tránsito, muchos baches - según las normas del U.S. Forest service)

$$N_c = 2.8$$

$$q_a = 24.08 \text{ kPa}$$

CALCULO DEL RADIO DEL ÁREA CARGADA (O RADIO EFECTIVO DE LLANTAS)

$$R = \sqrt{\frac{P}{p\pi}}$$

$$R = 0.15 \text{ m.}$$

CALCULO DEL ESFUERZO VERTICAL EN LA PARTE SUPERIOR DE LA SECCIÓN DE GEOWEB

$$\sigma_{vt} = p \left[1 - \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{R}{z_1} \right)^2} \right)^{3/2} \right]$$

GEOWEB 01

$$\sigma_{vt} = 601.07 \text{ Kpa}$$

GEOWEB 02

$$\sigma_{vt} = 230.22 \text{ Kpa}$$

CALCULO DEL ESFUERZO VERTICAL EN LA PARTE INFERIOR DE LA SECCIÓN DE GEOWEB

$$\sigma_{vb} = p \left[1 - \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{R}{z_b} \right)^2} \right)^{3/2} \right]$$

GEOWEB 01

$$\sigma_{vb} = 303.86 \text{ Kpa}$$

GEOWEB 02

$$\sigma_{vb} = 111.72 \text{ Kpa}$$

CALCULO DEL ESFUERZO HORIZONTAL ARRIBA Y AL FONDO DE LA SECCIÓN DE GEOWEB

$$K_a = 0.252$$

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\sigma_h = K_a \sigma_v$$

Ka=Cohesiente de de presión activa de suelo

GEOWEB 01

$$\sigma_{ht} = K_a \sigma_{vt} = 151.38 \text{ KPa}$$

GEOWEB 02

$$\sigma_{ht} = 57.98 \text{ KPa}$$

GEOWEB 01

$$\sigma_{hb} = K_a \sigma_{vb} = 76.53 \text{ KPa}$$

GEOWEB 02

$$\sigma_{hb} = 28.14 \text{ KPa}$$

CALCULO DEL ESFUERZO PROMEDIO SOBRE LAS PAREDES DE GEOWEB

$$\sigma_{avge} = \frac{(\sigma_{ht} + \sigma_{hb})}{2}$$

GEOWEB 01

$$\sigma_{avge} = 113.96 \text{ KPa}$$

GEOWEB 02

$$\sigma_{avge} = 43.06 \text{ KPa}$$

CALCULO DE LA REDUCCIÓN DE ESFUERZO

Reducción de esfuerzo, directamente debajo del centro del área cargada producida por la transferencia de esfuerzo a las paredes de las celdas de Geoweb

$$\sigma_r = 2 \left(\frac{H}{D} \right) \sigma_{avge} \tan \delta$$

Donde:

H = Profundidad de celda de Geoweb en mm (pulg)
D = Diámetro efectivo de las celdas Geoweb = 190 mm (7.5 pulg)

| | | |
|-----|------|----|
| H = | 0.15 | m. |
| D = | 0.30 | m. |

$\delta = r\phi$ Obtener los datos de ensayo o estimar r con la tabla 3

| Cuadro 2.3 : Relación Máxima de Angulo de Fricción Recomendada | | |
|--|-------------------------|-------------------|
| Material de Relleno Granular | Tipo de Pared de Celda | $r = \delta/\phi$ |
| Arena Gruesa / Grava | Lisa | 0.71 |
| | Texturizada | 0.88 |
| | Texturizada / Perforada | 0.90 |
| Arena Silícica #40 | Lisa | 0.78 |
| | Texturizada | 0.90 |
| | Texturizada / Perforada | 0.90 |
| Piedra Chancada | Lisa | 0.72 |
| | Texturizada | 0.72 |
| | Texturizada / Perforada | 0.83 |

$$r = 0.90$$

$$\delta = 33.03$$

GEOWEB 01
 $\sigma_r = 74.1 \text{ KPa}$

GEOWEB 02
 $\sigma_r = 28.0 \text{ KPa}$

CALCULO DEL ESFUERZO PERMISIBLE DE DISEÑO SOBRE LA SUBRASANTE CON EL SISTEMA GEOWEB

$$q_G = q_{G1} + q_{G2}$$

$$q_G = 126.17 \text{ KPa}$$

CALCULO DEL ESPESOR TOTAL REQUERIDO PARA EL PAVIMENTO GRANULAR

$$z_G = \frac{R}{\sqrt{\left(1 - \frac{q_G}{p}\right)^{2/3} - 1}}$$

$$z_G = 0.37 \text{ m.}$$

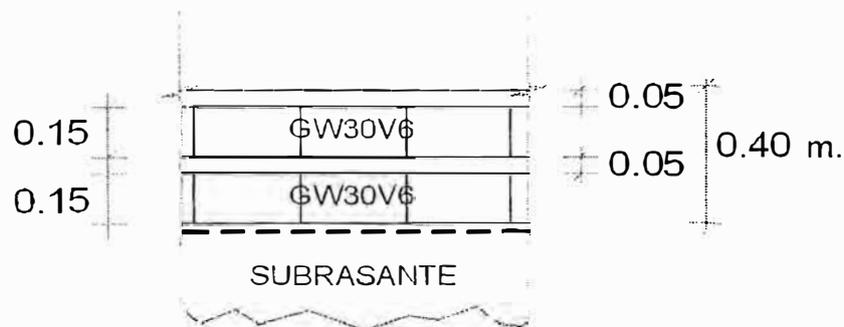


Figura 2.20 : Sección Típica

CAPITULO III DISEÑO DE PAVIMENTO – MÉTODOS CLÁSICOS

METODO NAASRA:

El diseño del pavimento ha sido realizado utilizando el Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de bajo volumen de Transito del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC).

3.1 Criterios y Método de Diseño – Método Naasra

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de grava o afirmado, se adoptó como representativa la siguiente ecuación empírica del método NAASRA, que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en Número de Repeticiones de EE:

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120) \dots \dots \dots (3.1)$$

3.2 Parámetros de Diseño – Método Naasra

En el funcionamiento estructural de las capas de revestimiento granular influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos pesados por día o durante el periodo de diseño, incluido las cargas por eje y la presión de los neumáticos. La demanda, medida en EE o por vehículos pesados, es particularmente importante para ciertos tipos de caminos de bajo volumen pero que, pudieran tener alto porcentaje de vehículos pesados, como los que se construyen para propósitos especiales como el minero y forestal (extracción de madera).

3.2.1 Tráfico

Desde el punto de vista del diseño del pavimento sólo tienen interés los vehículos pesados (buses y camiones), considerando como tales aquellos cuyo peso bruto excede de 5 toneladas. El resto de los vehículos que puedan circular con un peso inferior (motocicletas, automóviles y camionetas) provocan un efecto mínimo sobre el pavimento, por lo que no se tienen en cuenta en su cálculo.

El tráfico proyectado al año horizonte, se clasificará según lo siguiente:

| CLASE | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 |
|---|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| IMDa (Total vehículos ambos sentidos) | < 20 | 20 - 50 | 51 - 100 | 101 - 200 | 201 - 400 |
| Vehículos Pesados (carril de diseño) | < 6 | 6 - 15 | 16 - 28 | 29 - 56 | 57 - 112 |
| Nº Rep. EE (carril de diseño) | < 3.1×10^4 | $3.2 \times 10^4 - 7.8 \times 10^4$ | $7.9 \times 10^4 - 1.5 \times 10^5$ | $1.6 \times 10^5 - 3.1 \times 10^5$ | $3.2 \times 10^5 - 6.1 \times 10^5$ |

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

- Identificación de "sub tramos homogéneos" de la demanda.
- Conteos de tráfico en ubicaciones acordadas con la Entidad y por un período mínimo de 3 días (1 día de semana+Sábado+Domingo), de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo.
- El Estudio podrá ser complementado con información, de variaciones mensuales, proveniente de estaciones de conteo y/o pesaje del MTC, cercanas al tramo en estudio, que sea representativo de la variación de tránsito del proyecto.
- Con los datos obtenidos se determinará el número de vehículos (IMDa) y la cantidad de pesados (buses+camiones) para el carril de diseño, suficientes para definir la clase tipo de tráfico. No obstante, será necesario obtener el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño.
- El concepto de EE corresponde a la unidad normalizada por la AASHTO que representa el deterioro que causa en el pavimento un eje simple cargado con 8,16 toneladas. Para el cálculo de los factores destructivos por eje equivalente calculados se toma en cuenta el criterio simplificado de la metodología AASHTO, aplicando las siguientes relaciones:

| Tipo de Eje | Eje Equivalente EE 8.2 tn |
|-------------------------------|------------------------------|
| Eje Simples de rueda simples | $[P / 6.6]^4$ |
| Eje Simple de rueda doble | $[P / 8.16]^4$ |
| Eje Tandem de rueda doble | $[P / 15.1]^4$ |
| Eje Tridem de rueda doble | $[P / 22.9]^4$ |
| P = peso por eje en toneladas | |

También se considerará un factor de ajuste por presión de neumáticos, de tal manera de computar el efecto adicional de deterioro que producen las altas presiones de los neumáticos en el deterioro de los afirmados. Este efecto se incrementa más, para el caso de los capas de revestimiento granular en altura, donde la baja presión atmosférica genera un aumento de la presión interna del neumático, reduciendo su área de contacto y aumentando la presión sobre el pavimento. Para evitar este efecto en el cálculo de los EE, las llantas deberán tener una presión máxima de 80 psi pulg².

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

$$N_{rep} \text{ de EE } 8.2t = \dot{O} [EE_{\text{día-carril}} \times 365 \times (1+t)^{n-1}] / (t) \dots\dots\dots(3.2)$$

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

$$EE = N^{\circ} \text{ de vehículos según tipo} \times \text{Factor de carga} \times \text{Factor de Presión de llantas}$$

f. Como referencia del cálculo se presenta el cuadro siguiente, para periodos de 5 y 10 años:

| Cuadro 3.3 : Para el Cálculo de Ejes Equivalentes | | | | | |
|---|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| IMDa (total ambos sentidos) | Veh.Pesados (carril de diseño) | 5 años (carril de diseño) | | 10 años (carril de diseño) | |
| | | II° Repeticiones EE 8.2 tn |
| 10 | 3 | 13,585 | 1.36E+04 | 15,725 | 1.57E+04 |
| 20 | 6 | 27,130 | 2.71E+04 | 31,451 | 3.15E+04 |
| 30 | 9 | 40,695 | 4.07E+04 | 47,176 | 4.72E+04 |
| 40 | 12 | 56,197 | 5.62E+04 | 65,148 | 6.51E+04 |
| 50 | 15 | 67,824 | 6.78E+04 | 78,627 | 7.86E+04 |
| 60 | 17 | 76,576 | 7.56E+04 | 87,613 | 8.76E+04 |
| 70 | 20 | 96,892 | 9.69E+04 | 112,324 | 1.12E+05 |
| 80 | 23 | 104,643 | 1.05E+05 | 121,310 | 1.21E+05 |
| 90 | 26 | 122,084 | 1.22E+05 | 141,528 | 1.42E+05 |
| 100 | 28 | 131,773 | 1.32E+05 | 152,761 | 1.53E+05 |
| 110 | 31 | 147,275 | 1.47E+05 | 170,733 | 1.71E+05 |
| 120 | 34 | 160,840 | 1.61E+05 | 186,458 | 1.86E+05 |
| 130 | 37 | 172,467 | 1.72E+05 | 199,937 | 2.00E+05 |
| 140 | 40 | 187,970 | 1.88E+05 | 217,909 | 2.18E+05 |
| 150 | 43 | 203,473 | 2.03E+05 | 235,881 | 2.36E+05 |
| 160 | 45 | 209,286 | 2.09E+05 | 242,620 | 2.43E+05 |
| 170 | 48 | 226,727 | 2.27E+05 | 262,838 | 2.63E+05 |
| 180 | 51 | 236,416 | 2.36E+05 | 274,071 | 2.74E+05 |
| 190 | 54 | 253,856 | 2.54E+05 | 294,289 | 2.94E+05 |
| 200 | 56 | 265,483 | 2.65E+05 | 307,768 | 3.08E+05 |
| 250 | 71 | 335,245 | 3.35E+05 | 388,641 | 3.89E+05 |
| 300 | 84 | 399,194 | 3.99E+05 | 462,775 | 4.63E+05 |
| 350 | 99 | 468,956 | 4.69E+05 | 543,648 | 5.44E+05 |
| 400 | 112 | 529,029 | 5.29E+05 | 613,289 | 6.13E+05 |

Para alcanzar el objetivo buscado, deben evaluarse y seleccionarse los siguientes parámetros que definirán las características del proyecto. Según se explica a continuación en el siguiente orden:

- Estudio de la Demanda;
 - La velocidad de diseño en relación al costo del camino;
 - La sección transversal de diseño; y
 - El tipo de superficie de rodadura.
-
- Metodología para el Estudio de la Demanda de Tránsito

 - El Índice Medio Diario Anual de Tránsito (IMDA).

En los estudios del tránsito se puede tratar de dos situaciones: el caso de los estudios para caminos existentes, y el caso para caminos nuevos, es decir que no existen actualmente.

En el primer caso, el tránsito existente podrá proyectarse mediante los sistemas convencionales que se indican a continuación. El segundo caso requiere de un estudio de desarrollo económico zonal o regional que lo justifique.

El camino se diseña para un volumen de tránsito que se determina como demanda diaria promedio a servir, al final del período de diseño, calculado como el número de vehículos promedio que utilizan la vía por día actualmente y que se incrementa con una tasa de crecimiento anual, normalmente determinada por el MTC, para las diversas zonas del país.

Cálculo de Tasas de Crecimiento y la Proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

$$T_n = T_o (1+i)^{n-1} \dots\dots\dots(3.3)$$

en la que:

T_n = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día

T_o = Tránsito actual (año base o) en veh/día

n = Años del período de diseño

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito. Definida en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio

Estas tasas pueden variar sustancialmente si existieran proyectos de desarrollo específicos, por implementarse con certeza a corto plazo en la zona del camino.

La proyección puede también dividirse en dos partes. Una proyección para vehículos de pasajeros que crecerá aproximadamente al ritmo de la tasa de crecimiento de la población; y una proyección de vehículos de carga que crecerá aproximadamente con la tasa de crecimiento de la economía. Ambos índices de crecimiento correspondientes a la Región, que normalmente cuenta con datos estadísticos de estas tendencias.

3.3 Cálculo para el Diseño de Pavimento – Método Naasra

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

$$e = (219 - 211 * (\log_{10} (\text{CBR})) + 58 * (\log_{10} (\text{CBR})^2) * (\log_{10} * (\text{Nrep}/120)) \dots (3.4)$$

Los parámetros considerado son:

Trafico tipo T2
EE= 150,000

Capacidad de Soporte Subrasante
CBR = 0.3 %

Espesor de afirmado (capa de rodadura)

e = 107 cm.

METODO BOUSSINESQ

Aplicación de la teoría de Boussinesq.

3.4 Criterios y Método de Diseño – Método Boussinesq

Se presentan a continuación los procedimientos y cálculos de diseño para determinar el espesor necesario de la capa de agregados para los pavimentos con superficie de rodadura granular (por ejemplo, para el caso de caminos de acceso o de acarreo). Se utilizan primero los coeficientes de capacidad portante deducidos en forma empírica para determinar el esfuerzo máximo permisible sobre una subrasante con resistencia al corte conocida o estimada. El esfuerzo máximo permisible es el esfuerzo que provocaría una falla localizada de la subrasante por corte o penetración bajo condiciones de carga continua. Como las cargas sobre los pavimentos granulares son transitorias, el esfuerzo efectivo sobre el suelo es generalmente mayor de lo que sería bajo una carga estática. Por lo tanto, para efectos de diseño, se toma este esfuerzo máximo permisible como esfuerzo límite. Se aplica luego la teoría de Boussinesq para determinar el espesor de la capa granular debajo de la carga de rueda necesario para no sobrepasar el esfuerzo máximo permisible. Los cálculos que se presentan a continuación son para caminos de bajo volumen de tránsito donde se permiten deformaciones pequeñas o para el diseño de capas de pavimento de subbase sobre suelos blandos. No son para el diseño de estructuras de pavimento flexible con capa de rodadura pavimentada. Estos cálculos sólo son válidos para el diseño de pavimentos granulares sobre subrasantes de suelo cohesivo con valores del CBR menores a 5.

3.5 Parámetros de Diseño – Método Boussinesq

Los cálculos presentados utiliza la teoría de Boussinesq

Nombre de las Variables

| | |
|-----------|--|
| cu | Resistencia al corte de la subrasante |
| Nc | Coficiente de capacidad de carga – basado en el volumen de tránsito de diseño – ver más adelante |
| P | Carga de rueda de diseño |
| p | Presión de contacto |

3.6 Cálculo para el Diseño de Pavimento – Método Boussinesq

Determinar la resistencia al corte de la subrasante. Verificar en la Tabla 4 si la resistencia de la subrasante está registrada en términos de la Resistencia Normal a la Penetración, CBR, o Identificación en el Campo.

Determinar q_a , el máximo esfuerzo permisible sobre la subrasante.

$$q_a = N_c c_u \dots\dots\dots(3.5)$$

Donde:

NC = 2.8 (alto volumen de tránsito, pocos baches – según las normas del U.S. Forest Service)

NC = 3.3 (bajo volumen de tránsito, muchos baches – según las normas del U.S. Forest Service)

Determinar el espesor, z_u , requerido para el pavimento granular sin el sistema Geoweb de confinamiento celular mediante la siguiente ecuación (ecuación de Boussinesq para la estimación del esfuerzo vertical a una profundidad dada debajo de un peso circular, transformada para calcular el espesor del revestimiento encima de un esfuerzo vertical dado, q_a).

Donde R = Radio del área cargada (o radio efectivo de llantas simples o dobles)

$$z_u = \frac{R}{\sqrt{\left(1 - \frac{q_a}{p}\right)^{2/3}} - 1} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$R = \sqrt{\frac{P}{p\pi}} \dots\dots\dots(3.7)$$

Método Clásico 02

DISEÑO DE PAVIMENTOS GRANULARES (SIN GEOWEB)

PROYECTO : Pavimento de Prueba - Laboratorio de Hidraulica

TRAMO : 02

FECHA : Mayo 2007

DATOS DE ENTRADA:

Cu= Resistencia al corte de la subrasante CBR 0.3
 Nc= Coeficiente de capacidad de carga - basado en el volumen de tránsito de diseño
 P = Carga de la rueda de diseño (MTC - C3 - Eje simple 7 Tn y Eje tandem 18 Tn) 4.5 Tn.
 p= Presión de contacto 90 psi

| | |
|--------|-----|
| 8.60 | kPa |
| 2.8 | |
| 44.13 | KN |
| 620.53 | kPa |

Cálculos:

$$C_u = 8.60 \text{ kPa}$$

Determinar la resistencia al corte de la subrasante (verificar cuadro 3.4)

Cuadro 3.4 : Correlación de los Parámetros de Resistencia del Suelo de Subrasante para Suelos Cohesivos (de granos finos)

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

DETERMINAR EL MAXIMO ESFUERZO PERMISIBLE SOBRE LA SUBRASANTE

$$q_a = N_c c_u$$

Donde:

Nc = 2.8 (alto volumen de tránsito, pocos baches - según las normas del U.S. Forest service)

Nc = 3.3 (bajo volumen de tránsito, muchos baches - según las normas del U.S. Forest service)

$$N_c = 2.8$$

$$q_a = 24.08 \text{ kPa}$$

CALCULO DEL RADIO DEL ÁREA CARGADA (O RADIO EFECTIVO DE LLANTAS)

$$R = \sqrt{\frac{P}{p\pi}}$$

$$R = 0.15 \text{ m.}$$

CALCULO DEL ESPESOR TOTAL REQUERIDO PARA EL PAVIMENTO GRANULAR

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

| |
|-------------------------|
| $Z_G = 0.92 \text{ m.}$ |
|-------------------------|

CAPITULO IV ANÁLISIS COMPARATIVO DE DISEÑOS DE PAVIMENTOS

A continuación se muestra un cuadro comparativo de diseño entre los métodos usados:

| Cuadro 4.1 : Espesores de Diseños (m.) | | |
|--|----------------|------|
| Sin Refuerzo | MTC | 1.07 |
| | Boussinesq | 0.92 |
| Con Refuerzo | Sistema GEOWEB | 0.40 |

Se puede apreciar que con la inclusión del sistema GEOWEB como alternativa, el espesor de pavimento se reduce aproximadamente en 60% para suelos con CBR < 1%.

Sin embargo para ambos casos se requiere estabilizar la subrasante, es por esa razón que en el diseño con el sistema GEOWEB presenta la inclusión de dos secciones, siendo el primero de estabilización.

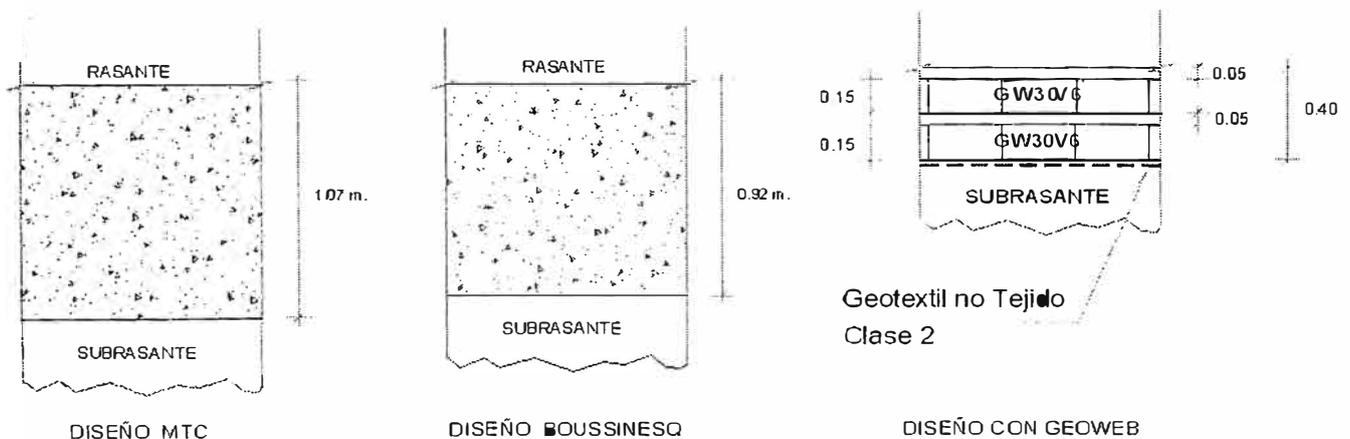


Figura 4.1 : Espesores de Diseños

Como se puede apreciar, los resultados de los diseños de los métodos sin refuerzo requieren una buena capa de agregado que distribuya las cargas de la superficie a la subrasante.

El sistema Geoweb de confinamiento celular aumenta la resistencia a la deformación bajo cargas de los materiales granulares de relleno gracias a la resistencia tangencial de cada celda, la resistencia pasiva del material de relleno en las celdas adyacentes y

la transferencia del esfuerzo vertical a las celdas adyacentes. En comparación con los materiales bi-dimensionales de refuerzo, la rigidez del sistema tridimensional de Geoweb es mucho mayor y no necesita de una deformación inicial para soportar la carga de diseño.

¿Provocarán la degradación del agregado y el esparcimiento lateral de la capa de base del pavimento, la formación baches y falla prematura de la estructura del pavimento? Si la subrasante es relativamente buena, las deformaciones y baches en la capa de base causarán probablemente problemas de mantenimiento y reducirán la vida útil de la estructura del pavimento. La utilización del sistema Geoweb para confinar la capa de base restringirá totalmente el movimiento lateral que provoca la formación de baches y minimizará la abrasión y el desgaste del relleno de agregados

El sistema Geoweb de soporte de carga puede ofrecer varias ventajas sobre las soluciones convencionales y sobre otros sistemas alternativos. Cuando intervienen suelos muy blandos y/o cargas pesadas, el sistema puede reducir los costos al disminuir el espesor necesario. En los casos en que los agregados resultan caros o no son disponibles, el sistema puede reducir los costos al incorporar materiales disponibles localmente. Como las secciones de Geoweb son muy compactas para el transporte y reducen el espesor total necesario, puede utilizarse una pequeña cantidad de ellas en remplazo de cargamentos de agregados importados que tienen a veces que transportarse sobre distancias muy largas.

CONCLUSIONES

1. El espesor de pavimento obtenido de 0.40 m. para el CBR de 0.3% del trabajo experimental a comparación con los otros espesores obtenidos de los métodos clásicos sin refuerzo con geosintéticos representa una disminución de aproximadamente el 60%.
2. El diseño del pavimento con este sistema para vías de bajo tráfico incluyó una primera sección de GEOWEB directamente después del geotextil de separación para la estabilización del suelo de subrasante con lo cual soluciono este problema inicial obteniéndose resultados inmediatos como se pudo comprobar en la sustentación de campo.
3. El sistema Geoweb de confinamiento celular aumenta la resistencia a la deformación bajo cargas de los materiales granulares de relleno gracias a la resistencia tangencial de cada celda, la resistencia pasiva del material de relleno en las celdas adyacentes y la transferencia del esfuerzo vertical a las celdas adyacentes. En comparación con los materiales bi-dimensionales de refuerzo, la rigidez del sistema tridimensional de Geoweb es mucho mayor y no necesita de una deformación inicial para soportar la carga de diseño.
4. El sistema Geoweb de confinamiento celular incrementa sustancialmente la resistencia al corte de los rellenos granulares, permitiendo el uso de agregados de menor calidad (p. ej. arena, grava) para soportar cargas concentradas que en otra forma requerirían de piedra chancada o mezclas bituminosas para evitar fallas por corte localizadas y cercanas a la superficie. Por otra parte, la estructura celular distribuye las cargas concentradas a las celdas vecinas, reduciendo así el esfuerzo sobre la subrasante directamente debajo de la carga y el espesor total necesario de la estructura.
5. El sistema Geoweb de soporte de carga puede ofrecer varias ventajas sobre las soluciones convencionales y sobre otros sistemas alternativos. Cuando intervienen suelos muy blandos y/o cargas pesadas, el sistema puede reducir los costos al disminuir el espesor necesario. En los casos en que los agregados resultan caros o no son disponibles, el sistema puede reducir los costos al incorporar materiales

disponibles localmente. Como las secciones de Geoweb son muy compactas para el transporte y reducen el espesor total necesario, puede utilizarse una pequeña cantidad de ellas en reemplazo de cargamentos de agregados importados que tienen a veces que transportarse sobre distancias muy largas.

RECOMENDACIONES

1. Si hay limitaciones para recortar el suelo existente o para diseñar una estructura gruesa de pavimento, se toma en cuenta el sistema Geoweb de confinamiento celular para reducir el espesor del pavimento.
2. Si es imposible construir un colchón estable de fundación debajo de la estructura de carga debido a una subrasante suave e inestable, se debe considerar la utilización del sistema Geoweb de confinamiento celular, con una subcapa de geotextil, que actúen como puente sobre el suelo blando y soporten los equipos de construcción, utilizando un espesor mínimo de material de recubrimiento.
3. Si no poseen los suelos locales disponibles (ejemplo arenas y gravas) la resistencia al corte necesaria para poderlos usar como superficie de rodadura para una carretera de acceso provisional o de bajo volumen de tránsito, debería considerarse el uso del sistema Geoweb para confinar el material local y compararlo con el costo que significaría traer agregados de mayor calidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bowles, Joseph E., Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, Traducido de la Segunda Edición, Editorial McGraw-Hill Latinoamericana S.A., Bogota-Colombia, año 1,978
2. Bravo, Paulo Emilio, Diseño de Carreteras: Técnica y Análisis, Sexta Edición, Editorial Cargraphics, Bogota-Colombia, año 1,993.
3. Céspedes Abanto, José, Carreteras Diseño Moderno, Primera Edición, Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca – Perú, Enero 2,001.
4. Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Especificaciones Generales Para Construcción de Carreteras EG-2000, Segunda Edición, Perú, Diciembre 2,000.
5. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual Para el Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Transito – Aprobado por R.D. N° 084-2005-MTC/14, Perú, año 2,005.
6. Presto Products Company, Diseño con el Sistema Geoweb, Perú, año 2007.
7. Wesseloo, Johan, Fuerza y Rigidez de Apoyo de Geoceldas, 1ra Edición, Editorial Universidad de Pretoria, Sudáfrica, año 2,004

Anexos

Anexo I

Fotografías



Foto 01 Limpieza del Terreno



Foto 02 Poda de ramas de árboles



Foto 03 Trazo de la zona de trabajo



Foto 04 Corte de terreno



Foto 05 Malla de seguridad



Foto 06 Tamizado del material extraído del corte del terreno



Foto 07 Encofrado de muro de separación



Foto 08 Relleno de zona a degradar



Foto 09 Poza experimental de 1 m x 1 m x 1 m



Foto 10 Impermeabilización de poza experimental con plástico



Foto 11 Saturación del suelo de la poza experimental



Foto 12 Ensayos con penetrómetro para obtención del CBR



Foto 13 Saturación de la poza del tramo experimental



Foto 14 Instalación del geotextil no tejido de separación



Foto 15 Instalación de los módulos de GEOWEB



Foto 16 Relleno de las secciones de GEOWEB con material granular



Foto 17 Compactación del terreno



Foto 18 Verificación de cotas

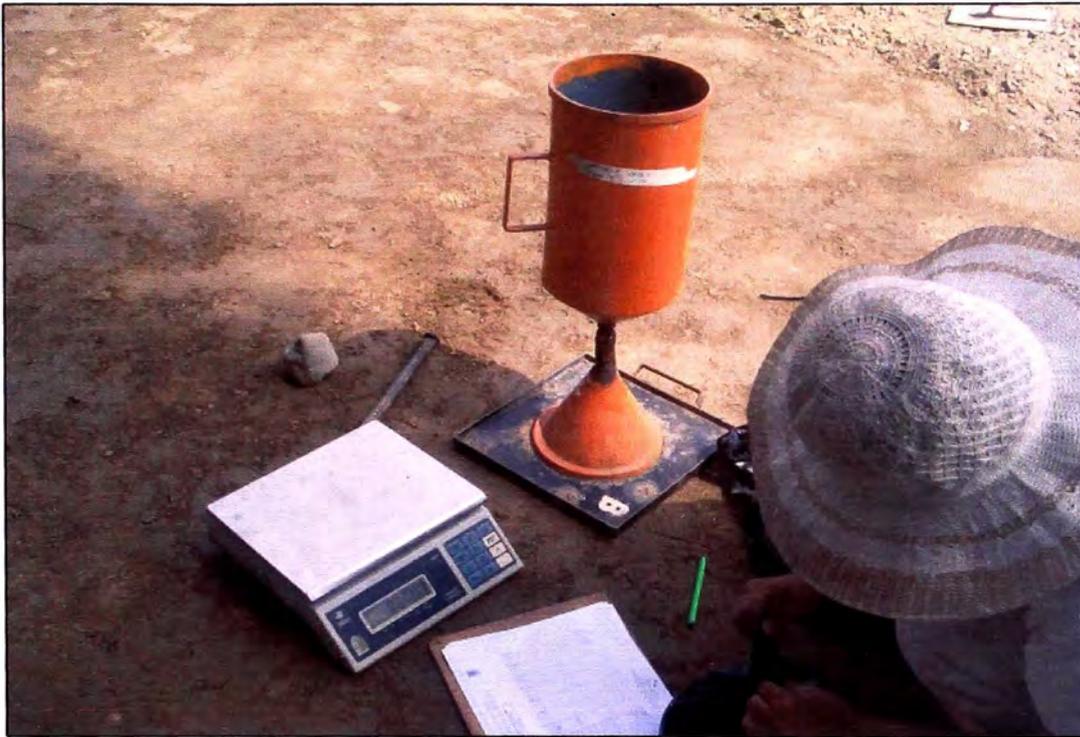


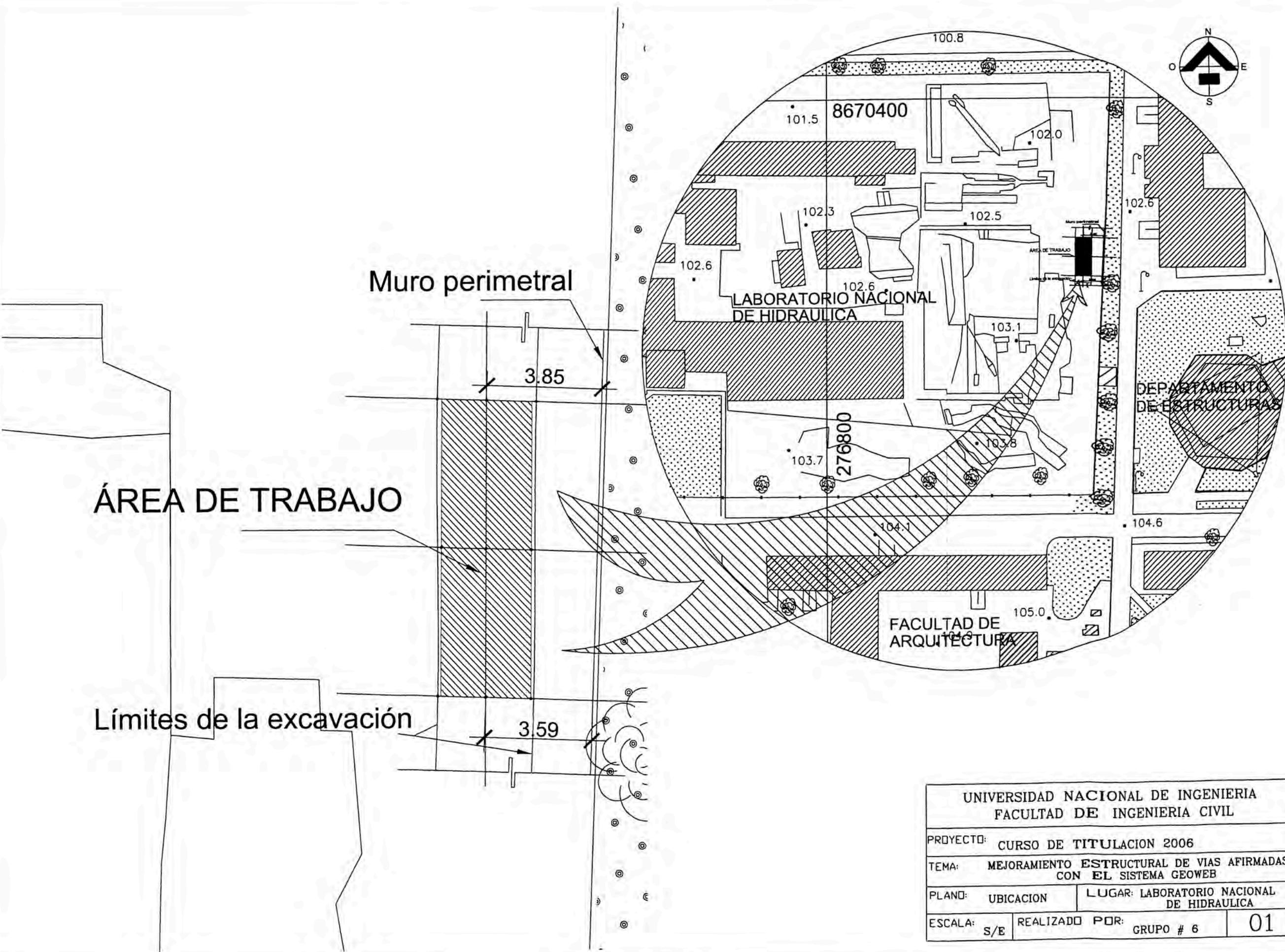
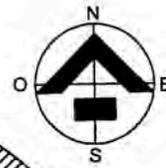
Foto 19 Controles de densidad de campo



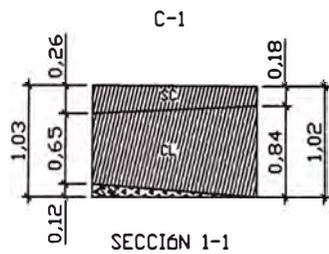
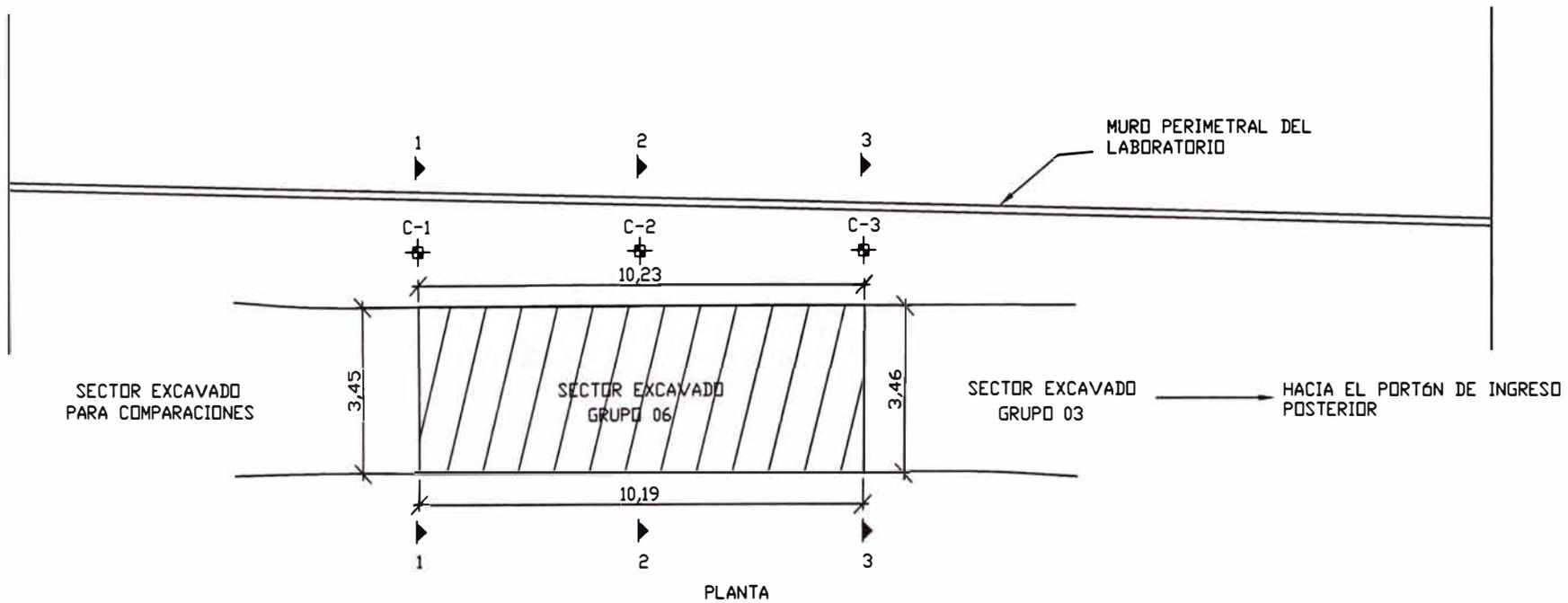
Foto 20 Pavimento concluido

Anexo II

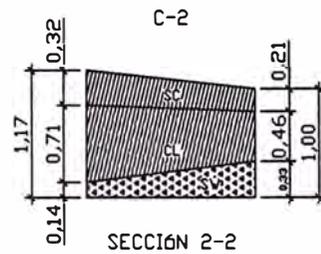
Planos



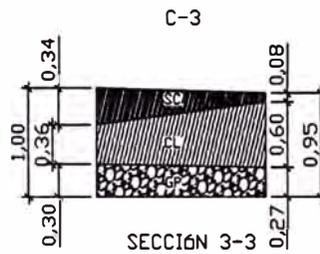
| | | |
|---|--|----|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL | | |
| PROYECTO: CURSO DE TITULACION 2006 | | |
| TEMA: MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIAS AFIRMADAS CON EL SISTEMA GEOWEB | | |
| PLANO: UBICACION | LUGAR: LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA | |
| ESCALA: S/E | REALIZADO POR: GRUPO # 6 | 01 |



Área SC = 0,76 m²
 Área CL = 2,57 m²
 Área SW = 0,21 m²

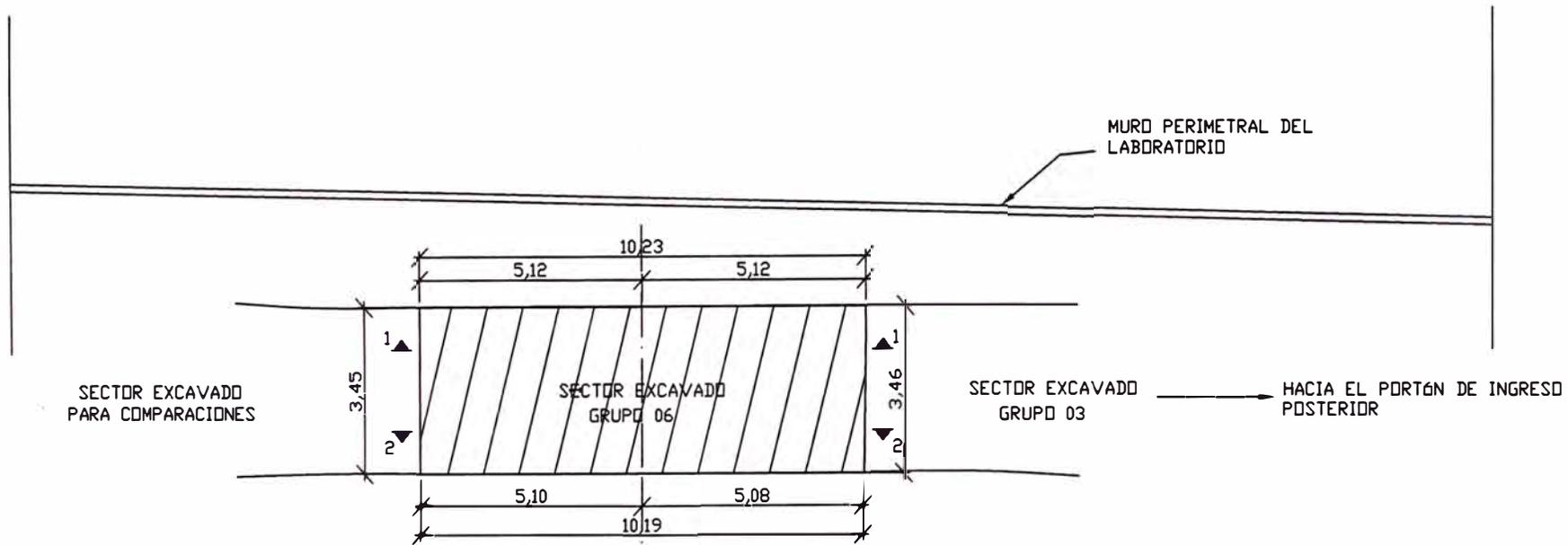


Área SC = 0,92 m²
 Área CL = 2,02 m²
 Área SW = 0,81 m²

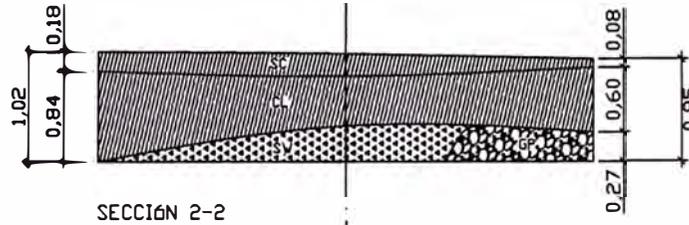


Área SC = 0,73 m²
 Área CL = 1,66 m²
 Área SP = 0,99 m²

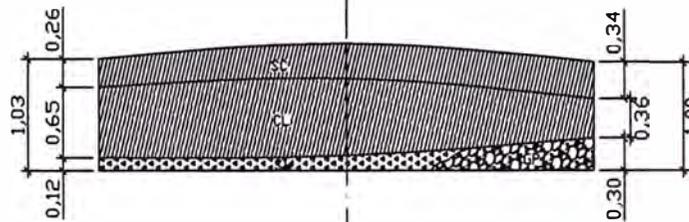
| | |
|---|--|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL | |
| CURSO DE TITULACIÓN 2006 | |
| PROYECTO: MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VÍAS AFIRMADAS CON EL SISTEMA GEOWEB | |
| PLANO: CALICATAS PLANTA, SECCIONES Y ÁREAS | |
| FECHA: MAYO, 2007 | LUGAR: LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA |
| ESCALA: S/E | REALIZADO POR: GRUPO N° 6 |



PLANTA



SECCIÓN 2-2



SECCIÓN 1-1

Volumen SC = 8,50 m³

Volumen CL = 21,11 m³

Volumen SW-GP = 7,21 m³

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CURSO DE TITULACIÓN 2006
PROYECTO: MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VÍAS AFIRMADAS
CON EL SISTEMA GEOWEB

PLANO: PERFIL ESTRATIGRÁFICO
PLANTA, SECCIONES Y VOLUMENES

FECHA: MAYO, 2007

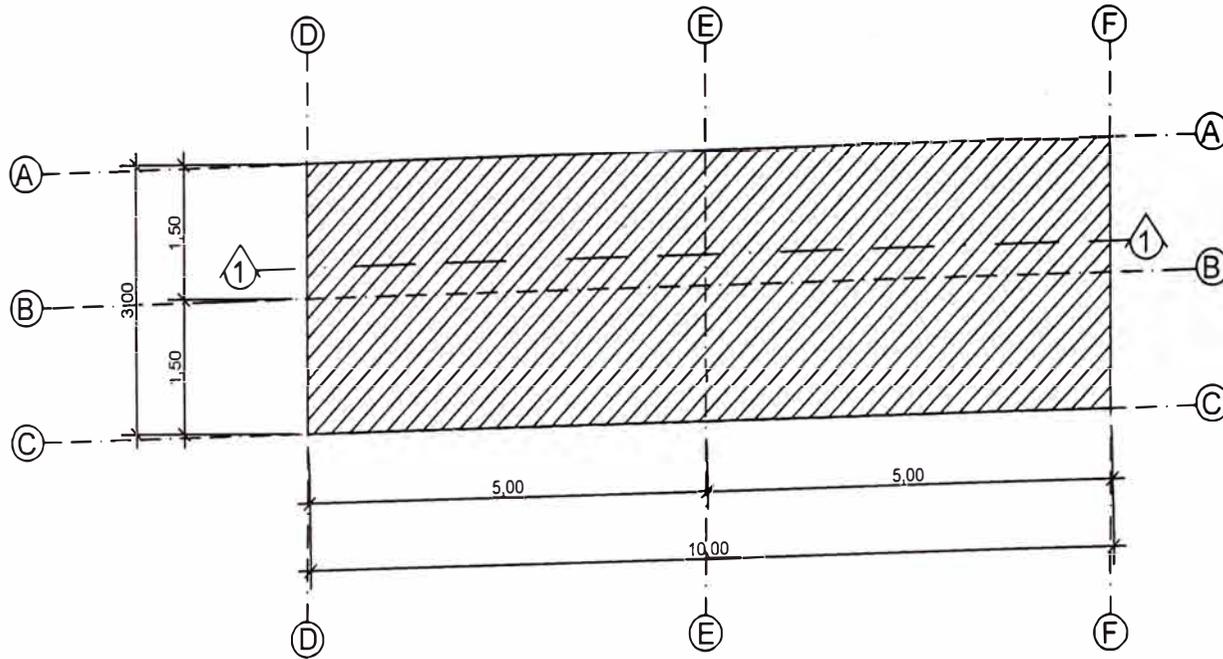
LUGAR: LABORATORIO NACIONAL
DE HIDRAULICA

ESCALA: S/E

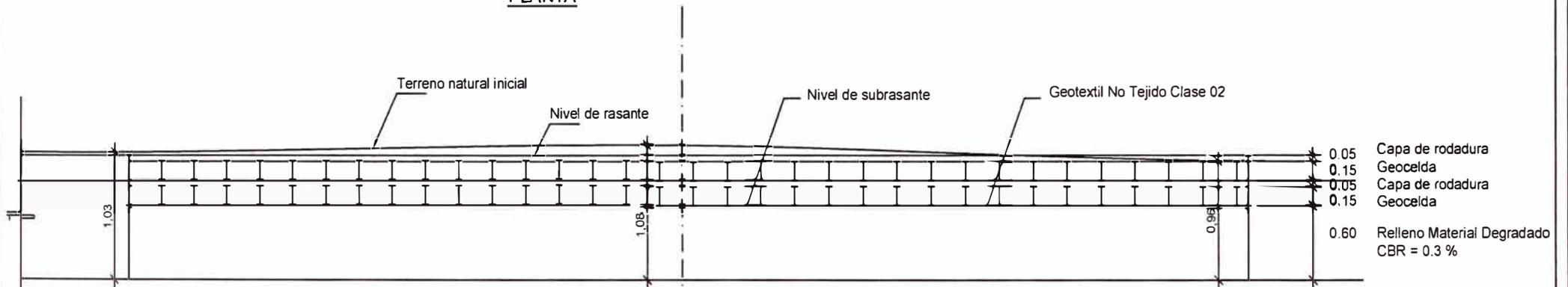
REALIZADO POR: GRUPO N° 8 | 03

ESPECIFICACIONES TECNICAS

Cu : Resistencia al Corte de la Subrasante..... 8.60 KPa
 Nc : Coeficiente de capacidad de carga
 basado en el volumen de transito de diseño..... 2.8
 P : Carga de la rueda de diseño..... 90 Kn
 p : Presion de contacto..... 620



PLANTA



CORTE 1 - 1

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

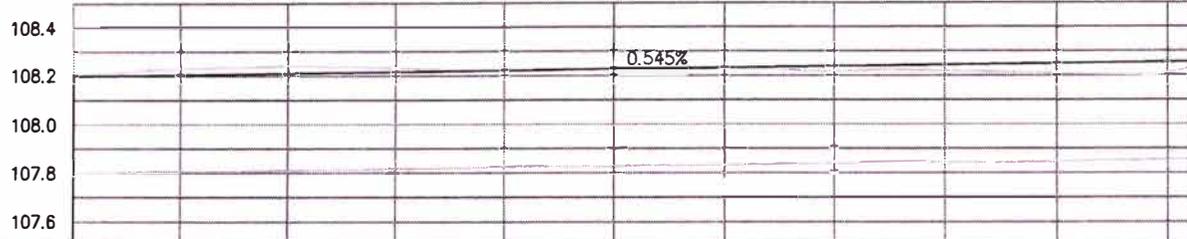
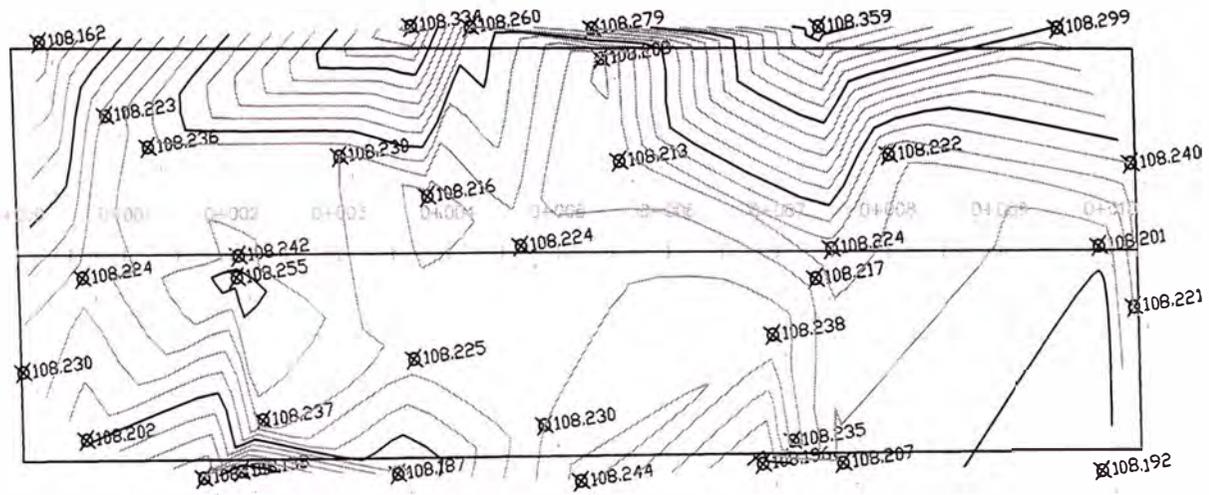
PROYECTO: CURSO DE TITULACION 2006

TEMA: MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIAS AFIRMADAS
CON EL SISTEMA GEOWEB

PLANO: PLANTA GENERAL LUGAR: LABORATORIO NACIONAL
DE HIDRAULICA

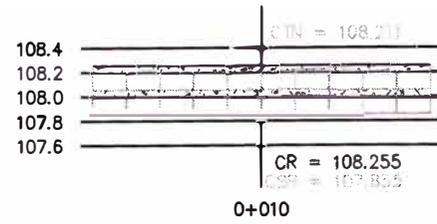
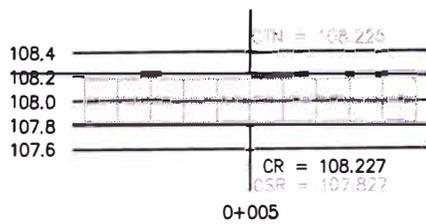
ESCALA: S/E REALIZADO POR: GRUPO # 6

04

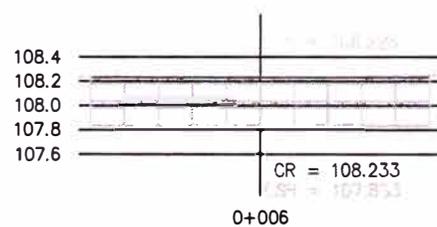
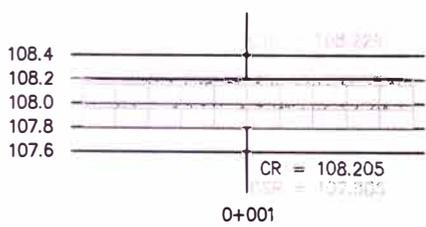
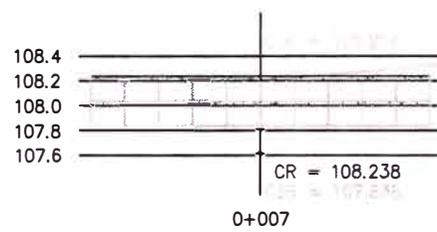
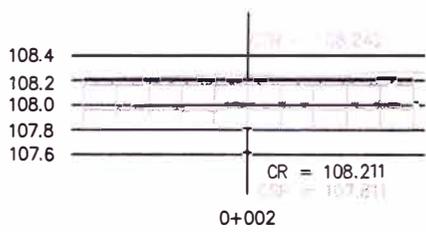
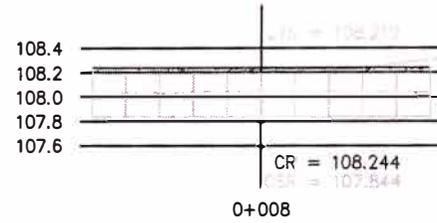
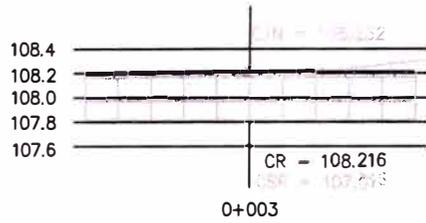
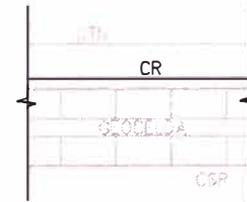
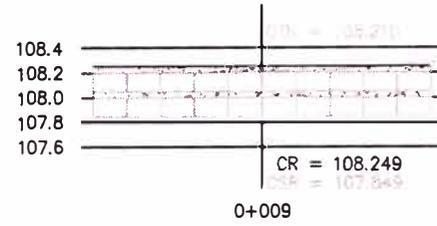
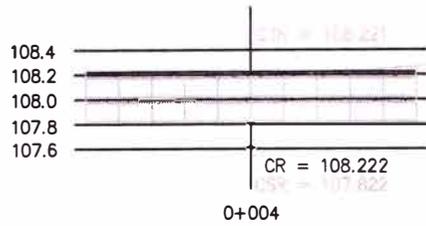


| | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| COTA DEL TERRENO NATURAL | | | | | | | | | | |
| COTA DE LA RASANTE | 108.200 | 108.205 | 108.211 | 108.216 | 108.222 | 108.227 | 108.233 | 108.238 | 108.244 | 108.249 |
| COTA DE LA RASANTE | 108.200 | 108.205 | 108.211 | 108.216 | 108.222 | 108.227 | 108.233 | 108.238 | 108.244 | 108.249 |
| PROGRESIVA | 0+000 | 0+001 | 0+002 | 0+003 | 0+004 | 0+005 | 0+006 | 0+007 | 0+008 | 0+009 |

| | | |
|---|--|-----------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL | | |
| PROYECTO: CURSO DE TITULACION 2006 | | |
| TEMA: MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIAS AFIRMADAS CON EL SISTEMA GEOWEB | | |
| PLANO: PERFIL | LUGAR: LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA | |
| ESCALA: 1/100 | REALIZADO POR: | GRUPO # 6 |
| | | 05 |



CTN = COTA DE TERRENO NATURAL
CR = COTA DE RASANTE
CSR = COTA DE SUBRASANTE



| | | |
|---|--|-----------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL | | |
| PROYECTO: CURSO DE TITULACION 2006 | | |
| TEMA: MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIAS AFIRMADAS CON EL SISTEMA GEOWEB | | |
| PLANO: SECCIONES | LUGAR: LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA | |
| ESCALA: 1/100 | REALIZADO POR: | GRUPO # 6 |
| | | 06 |

ENTRE SECCIONES DE GEOWEB®:

1. LAS SECCIONES ADYACENTES DE GEOWEB SE ENGRAPAN JUNTAS MEDIANTE ENGRAPADORAS Y GRAPAS APROBADAS POR EL FABRICANTE
2. LOS BORDES SUPERIORES DE LAS PAREDES DE CELDAS ADYACENTES DEBEN ESTAR AL MISMO NIVEL AL ENGRAPARLAS.
3. LAS CONEXIONES LATERALES ENTRE SECCIONES DE GEOWEB EXTENDIDAS DEBEN ESTAR EN TRESBOLILLO (INTERCALADAS) TAL COMO LO MUESTRA LA FIGURA A. LAS JUNTAS SOLDADAS DEBEN ESTAR ALINEADAS AL ENGRAPARLAS.
4. LAS CONEXIONES ENTRE LOS EXTREMOS DE LAS SECCIONES DE GEOWEB DEBEN ESTAR FRENTE A FRENTE TAL COMO LO MUESTRA LA FIGURA B. LOS EJES LONGITUDINALES DE LAS CELDAS EXTERIORES QUE SE CONECTAN DEBEN ESTAR ALINEADOS Y ENGRAPADOS EN EL PUNTO DE CONTACTO DE LAS PAREDES DE LAS CELDAS.

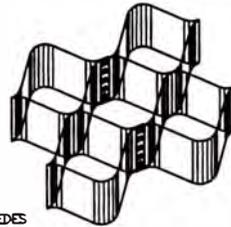
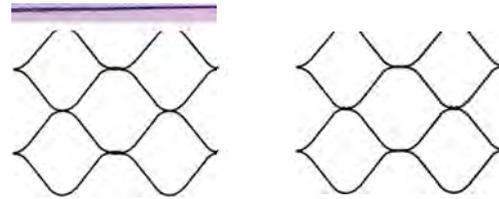


FIGURA A

DETALLE DE CONEXION LATERAL
- EN TRESBOLILLO (INTERCALADA)

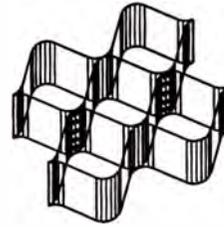
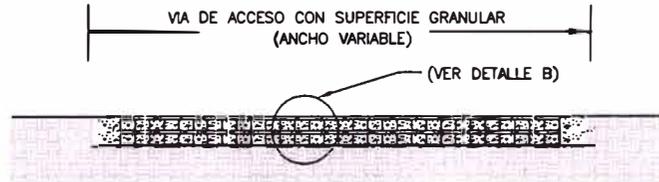


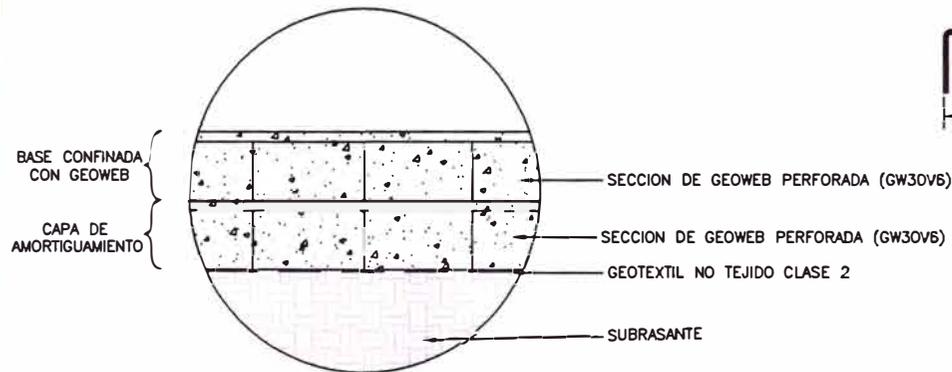
FIGURA B

DETALLE DE CONEXION EN EL EXTREMO
- FRENTE A FRENTE

DETALLE DE CONEXION DE LOS EXTREMOS CON GRAPAS

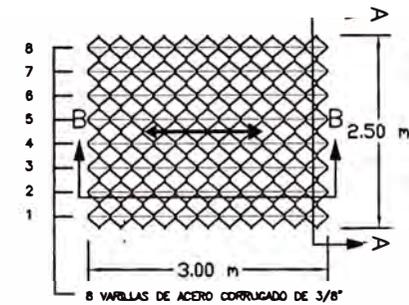


SECCION B - B

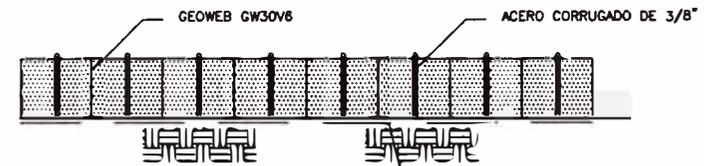


DETALLE B

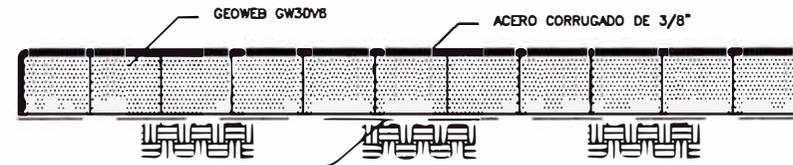
DETALLES DE UN PAVIMENTO GRANULAR TIPICO



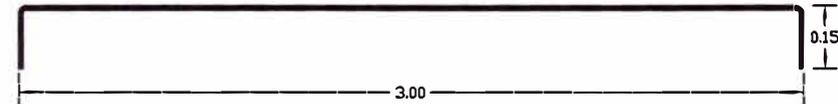
ESPACIAMIENTO PARA ACERO CORRUGADO DE 3/8"



SECCION A - A

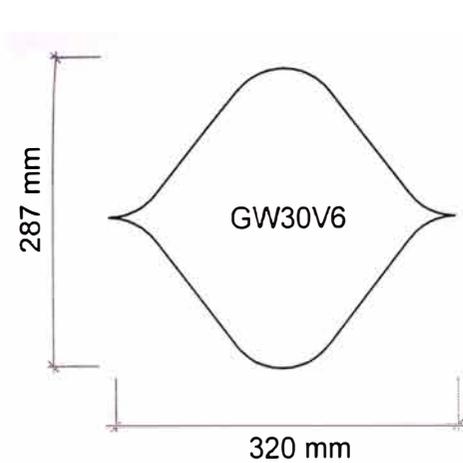


SECCION B - B

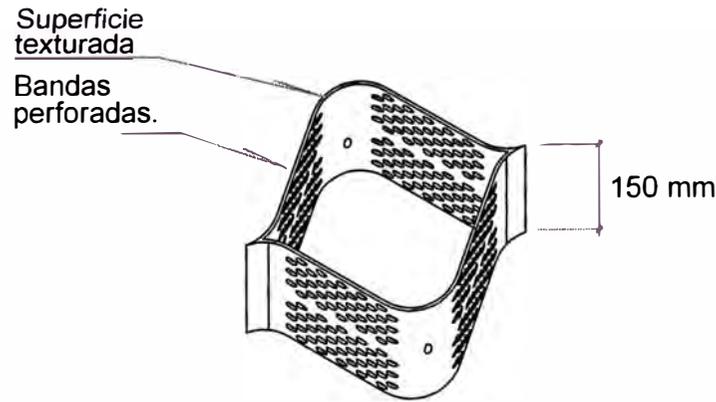


DETALLE DE ACERO CORRUGADO

| | | |
|---|--|----|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL | | |
| PROYECTO: CURSO DE TITULACION 2006 | | |
| TEMA: MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIAS AFIRMADAS CON EL SISTEMA GEOWEB | | |
| PLANO: DETALLES 1 | LUGAR: LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA | |
| ESCALA: 1/100 | REALIZADO POR: GRUPO # 6 | 07 |



DIMENSIONES



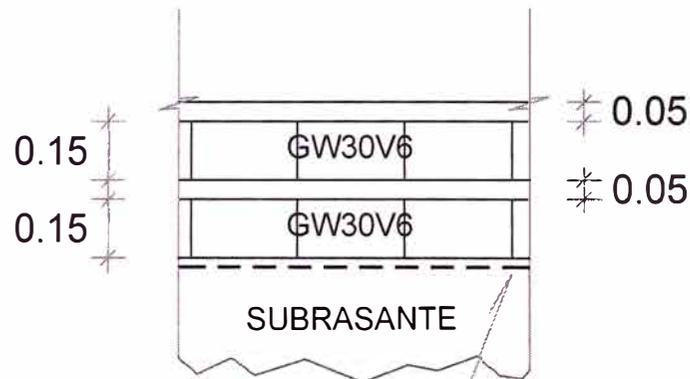
VISTA ISOMETRICA DE GEOWEB TEXTURADA Y PERFORADA

Descripción:
 Indentaciones romboidales (forma de diamante).
 Densidad superficial 22-31 indentaciones por cm².
 Espesor de faja incluyendo texturado 1.52mm±0.15mm ASTM D5199.
 Perforaciones de 10mm en hileras.
 Separación horizontal entre centros 19mm.
 Separación vertical entre centros 12mm.

Capacidad:
 Las fajas de polietileno estarán texturizadas y perforadas en forma tal que el ángulo de fricción máximo de la arena silícea #40 con 100 % de densidad relativa no sea mayor del 85% del ángulo de fricción máximo de la arena silícea aislada, ensayada con el método del corte directo bajo norma ASTM D5321. Las perforaciones restarán 16% ±1% del área de las paredes de la celdas.

ESPECIFICACIONES

| | |
|---|--|
| GEOCELDAS GEOWEB | |
| TIPO | : GW30V6 |
| MATERIAL | : Polietileno de Alta Densidad (HDPE) 0.935 - 0.965 g/cm ³ (ASTM D-1505) |
| ESPESOR DE BANDA | : 1.27mm -5% +10% (ASTM D-5199) |
| DIMENSIONES (A x L) | : 320mm x 287mm |
| ALTURA | : 150mm |
| CARACTERISTICAS | : Superficie texturada y perforada color negro y paso para tendones |
| ESTABILIZADOR | : 1.5%-2% negro de humo. |
| RESIST. AL AGRIETAMIENTO POR EXPOSICION AL MEDIO AMBIENTE | : 3000 hrs (ASTM D-1693). |



Geotextil no Tejido Clase 2

SECCION TIPICA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: CURSO DE TITULACION 2006

TEMA: MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIAS AFIRMADAS CON EL SISTEMA GEOWEB

PLANO: DETALLES 2

LUGAR: LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA

ESCALA: 1/100

REALIZADO POR: GRUPO # 6

08

FIGURA 1

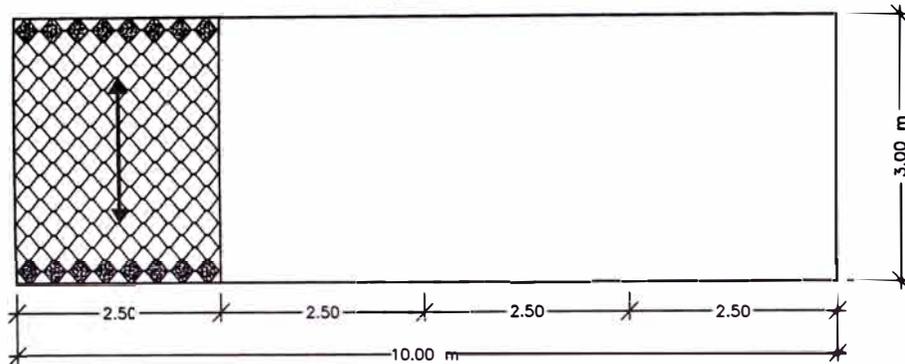


FIGURA 2

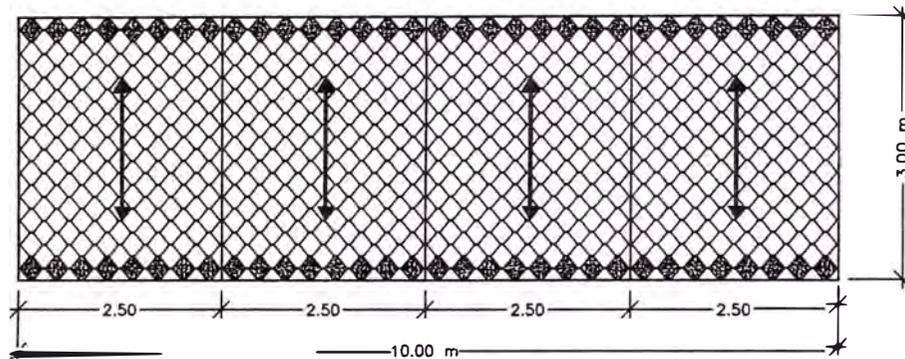
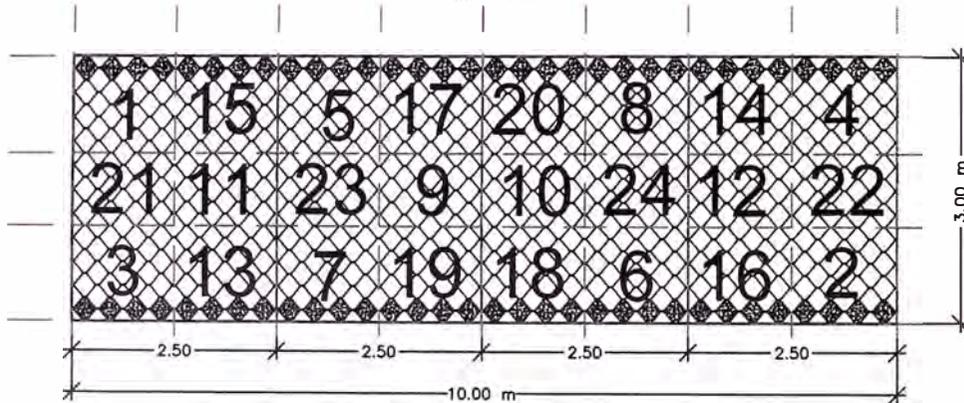


FIGURA 3



PROCEDIMIENTO:

1. EXCAVAR O RELLENAR LA SUBRASANTE HASTA LAS PENDIENTES, NIVELES Y DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS DE CONSTRUCCION.
2. VERIFICAR QUE EL SUELO DE SUBRASANTE SATISFAGA LOS REQUERIMIENTOS DE RESISTENCIA DEL DISEÑO. DE ENCONTRARSE SUELOS INACEPTABLES, ESTOS SERAN REMOVIDOS Y REEMPLAZADOS POR RELLENO PREPARADO DE ACUERDO CON LAS INDICACIONES DEL INGENIERO DE PROYECTO.
3. COLOCAR EL GEOTEXTIL NO TEJIDO CLASE 2 SOBRE LA SUBRASANTE
4. COLOCAR EL ACERO DOBLADO EN FORMA DE "C" DE ACUERDO AL DETALLE DE LA SECCION A - A Y B - B DE LA LAMINA 05 Y LUEGO EXTENDER LA GEOCELDA DE ACUERDO A LAS MEDIDAS ESTABLECIDAS EN EL PLANO DE DISTRIBUCION (LAMINA 07)
5. LUEGO SE PROCEDE AL LLENADO CON MATERIAL GRANULAR LAS GEOCELDA COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 1, LAS CUALES SERBIRAN INICIALMENTE COMO LASTRES PARA PODER RETIRAR LOS FIERROS COLOCADOS ANTERIORMENTE Y ASI CONTINUE EN SU FORMA EXPANDIDA LA GEOCELDA
6. SE PROCEDE A EJECUTAR LO MISMO DEL PASO 4 PERO CON LA SALVEDAD QUE TENEMOS QUE ASEGURARNOS QUE TODAS LAS CELDAS ADYACENTES ESTEN BIEN ENGRAPADAS SEGUN SEA EL CASO TAL COMO SE INDICA EN LA FIGURA A Ó FIGURA B DEL PLANO DE DETALLES 1 - LAMINA 05 Y LUEGO PROCEDEMOS CON EL PASO 5 Y ASI SUCESIVAMENTE HASTA COMPLETAR LA SECCION TOTAL DE LA FIGURA 3
7. COLOCAR EL MATERIAL DE RELLENO ESPECIFICADO HASTA APROXIMADAMENTE 50 mm (2 pulg) ENCIMA DE LAS PAREDES DE CELDAS, SEGUN LA NUMERACION DE LA CUADRICULA DE LA FIGURA 3, COMPACTAR LEVEMENTE EL MATERIAL DE RELLENO CON UN PIZON DE MANO PARA ESTA CAPA DE AMORTIGUAMIENTO
8. PARA LA CAPA QUE VENDRIA A SER LA BASE CON GEOWEB, DEL MISMO MODO PROCEDEMOS CON LOS PASOS 4,5,6 Y 7, PERO EN ESTE CASO SE UTILIZARA PARA LA COMPACTACION UNA UNA PLANCHA VIBRATORIA A UN MINIMO DE 95% SPDD

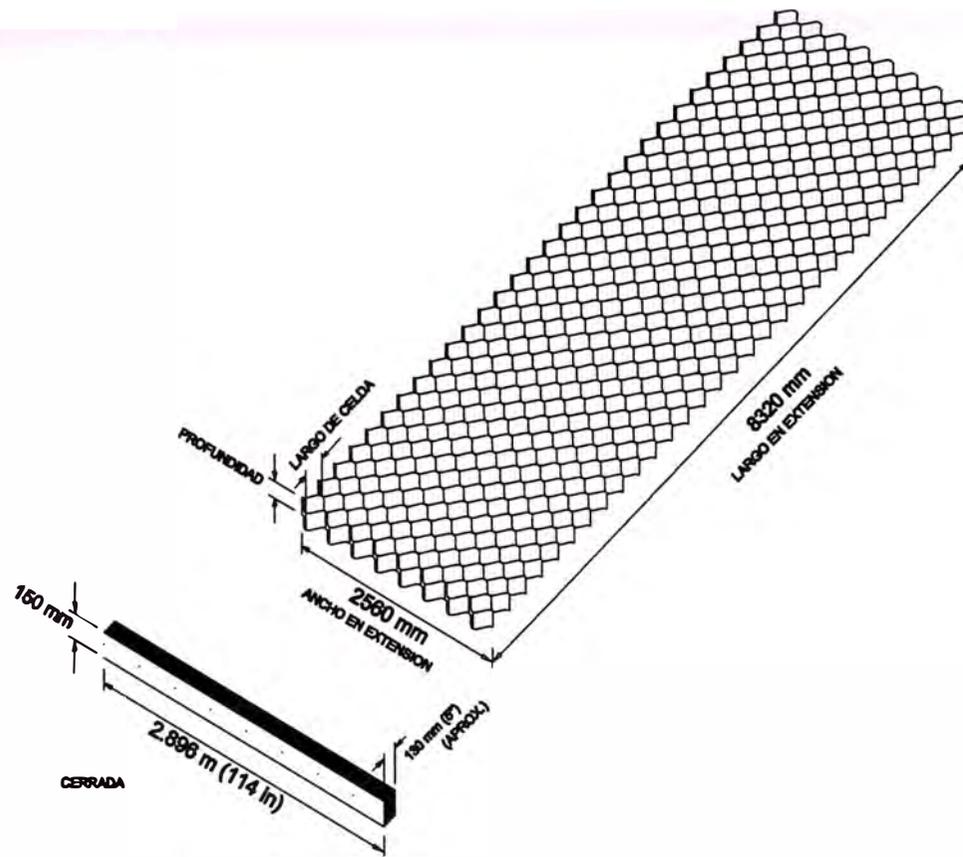
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: CURSO DE TITULACION 2006

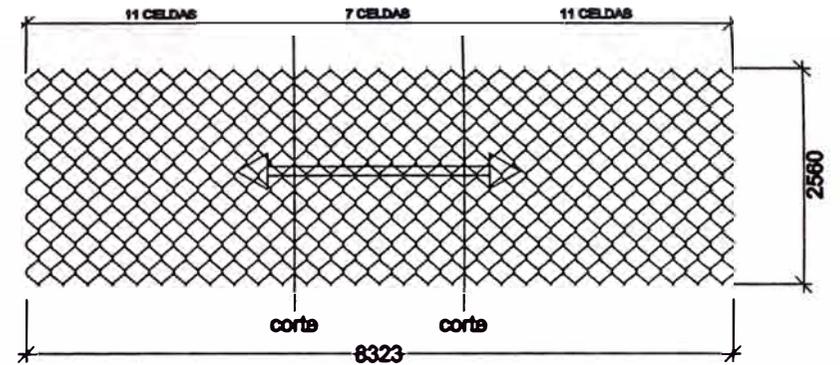
TEMA: MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIAS AFIRMADAS
CON EL SISTEMA GEOWEB

PLANO: PROCEDIMIENTO LUGAR: LABORATORIO NACIONAL
DE HIDRAULICA

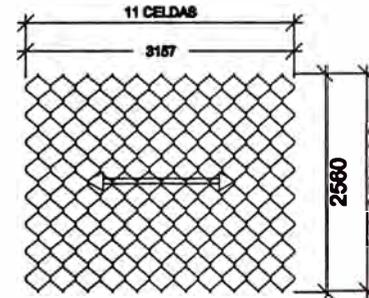
ESCALA: 1/100 REALIZADO POR: GRUPO # 6 09



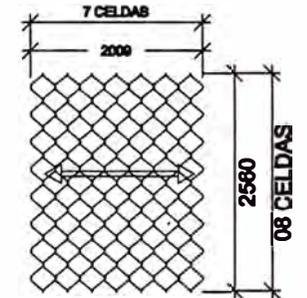
DIMENSIONES ESTANDAR DE UNA SECCION DE GEOWEB GW30V6



SECCIÓN COMERCIAL GW30V6 DE 06x29 CELDAS



MÓDULO 1 (SECCIÓN DE 08x11 CELDAS)



MÓDULO 2 (SECCIÓN DE 08x07 CELDAS)

CORTES A REALIZAR EN UNA SECCIÓN COMERCIAL PARA GENERAR LOS MÓDULOS 1 Y 2

- DE UNA SECCIÓN COMERCIAL DE 06x29 CELDAS SE OBTIENEN:

02 UNIDADES DEL MÓDULO 1

01 UNIDAD DEL MÓDULO 2

NOTA:

TODAS LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EN MILIMETROS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

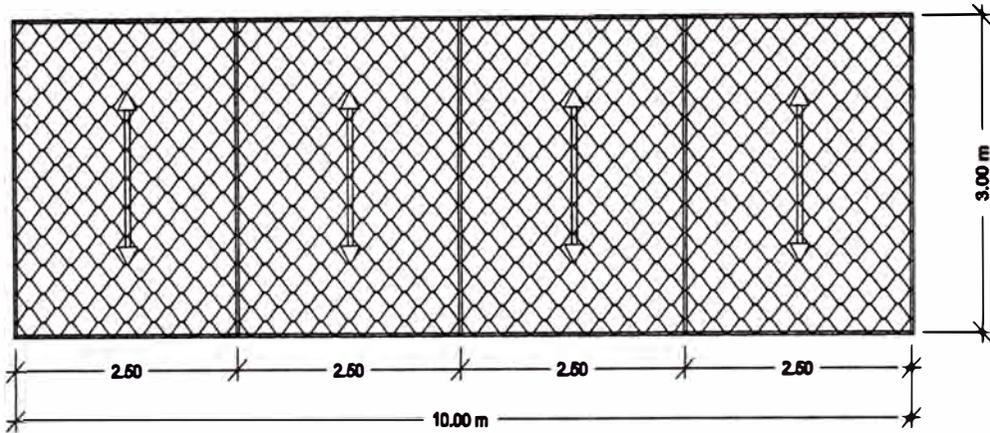
PROYECTO: CURSO DE TITULACION 2006

TEMA: MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIAS AFIRMADAS
CON EL SISTEMA GEOWEB

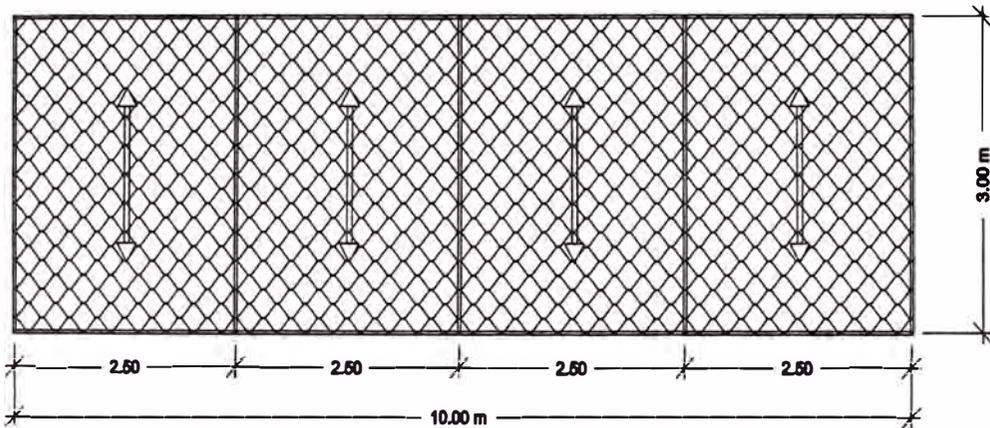
PLANO: MODULACION LUGAR: LABORATORIO NACIONAL
DE HIDRAULICA

ESCALA: 1/100 REALIZADO POR: GRUPO # 6

10

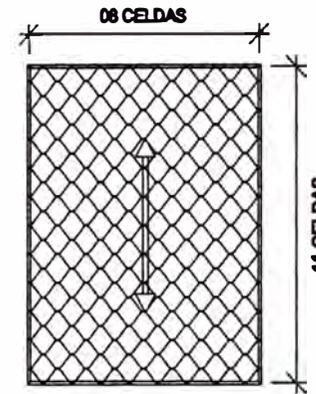


PRIMERA CAPA DE GEOWEB



SEGUNDA CAPA DE GEOWEB

- PARA DOS CAPAS DE GEOWEB EN EL PAVIMENTO GRANULAR A CONSTRUIR SE UTILIZARÁN CUATRO SECCIONES COMERCIALES DE 08x29 CELDAS
- SE OBTENDRAN 08 UNIDADES DEL MÓDULO 1 Y 04 UNIDADES DEL MÓDULO 2
- SÓLO SE UTILIZARAN LOS MODULOS 1 (SECCIONES DE 08 x 11 CELDAS)



MÓDULO 1

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: CURSO DE TITULACION 2006

TEMA: MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIAS AFIRMADAS
CON EL SISTEMA GEOWEB

PLANO: DISTRIBUCION

LUGAR: LABORATORIO NACIONAL
DE HIDRAULICA

ESCALA: 1/100

REALIZADO POR: GRUPO # 6

11

Anexo III

Ensayos de Laboratorio



AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D 422

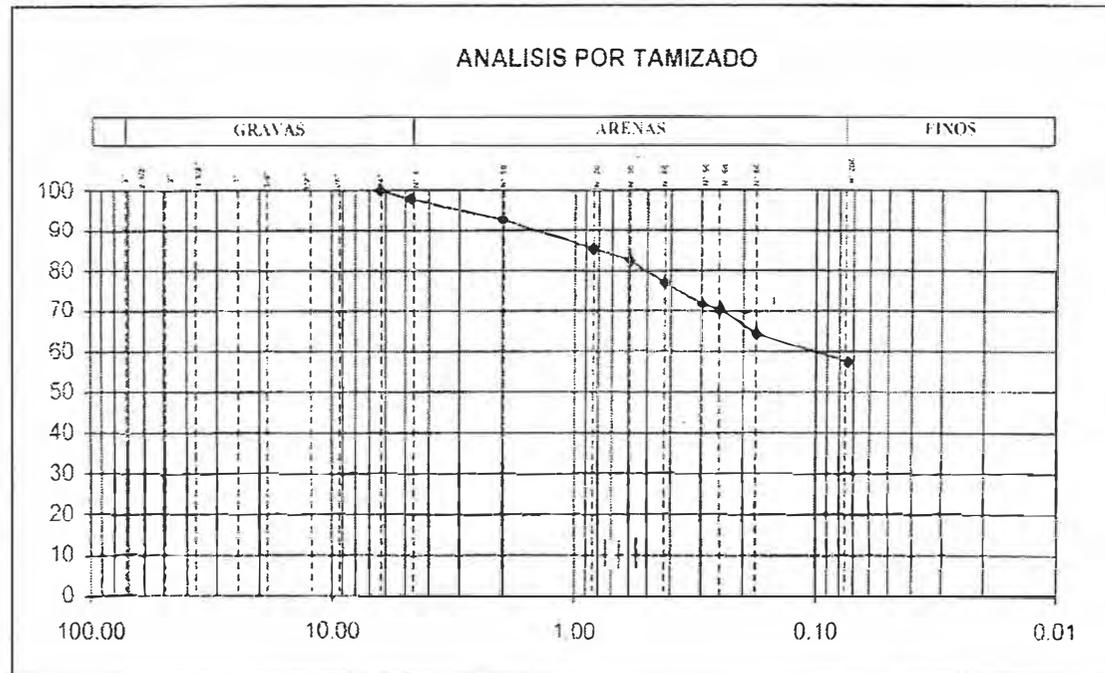
PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vias Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO: Grupo 6 - Curso de Titulación 2005 - FIC
 UBICACION: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 CALICATA: C - 1 MUESTRA: M - 1 PROF. (m): 0.00-0.26
 ING RESP: ING. J. MARTINEZ TECNICO Y F.A./M.A.L./K.C.L. FECHA: Abril 2007

| | |
|---|---------|
| HUMEDAD NATURAL DE LA MUESTRA (%) | |
| PESO DE LA MUESTRA SECA (gr) | 230.000 |
| PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA (gr) | 197.700 |
| PESOS DE FINOS LAVADOS (gr) | 192.300 |

PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

| | | | | | |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|
| D60 | 0.111 | Gravas | 2.39 | Gruesa | 0.00 |
| D30 | - | Arenas | 40.09 | Fina | 2.39 |
| D10 | - | | | Gruesa | 5.04 |
| Cu | - | | | Media | 15.57 |
| Cc | - | Finos | 57.52 | Fina | 19.48 |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA (%) |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 3" | 76.200 | | |
| 2 1/2" | 63.500 | | |
| 2" | 50.800 | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | |
| 1" | 25.400 | | |
| 3/4" | 19.050 | | |
| 1/2" | 12.700 | | |
| 3/8" | 9.525 | | |
| 1/4" | 6.350 | | 100.00 |
| N° 4 | 4.750 | 5.50 | 97.61 |
| N° 10 | 2.000 | 11.60 | 92.57 |
| N° 20 | 0.840 | 16.40 | 85.43 |
| N° 30 | 0.600 | 7.00 | 82.39 |
| N° 40 | 0.425 | 12.40 | 77.00 |
| N° 50 | 0.297 | 12.00 | 71.78 |
| N° 60 | 0.250 | 3.10 | 70.43 |
| N° 80 | 0.177 | 13.70 | 64.48 |
| N° 200 | 0.075 | 16.00 | 57.52 |
| FONDO | | | |
| Limos < 0.074mm-0.005mm. | | | |
| Arcillas < 0.005mm. | | | |
| Coloides < 0.001mm | | | |



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



AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

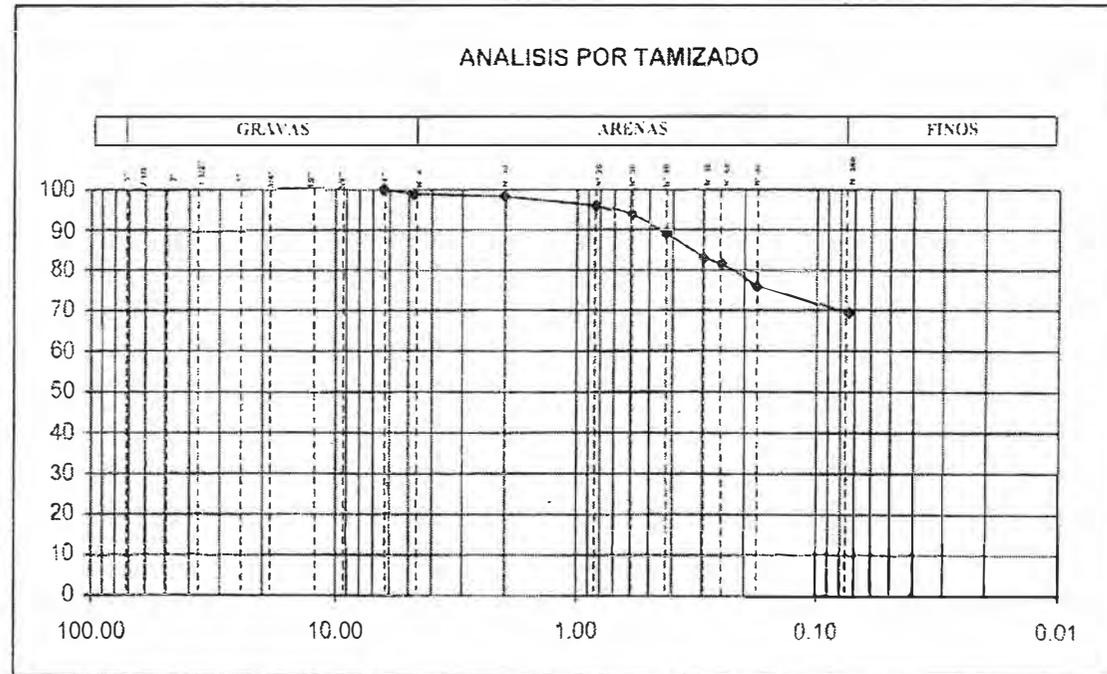
ASTM D 422

PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vias Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO: Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 CALICAYA: C - 1 MUESTRA M - 2 PROF. (m) 0.26-0.91
 ING. RESP.: ING. J. MARTINEZ TECNICO Y.F.A./M.A.L./K.C.L. FECHA Abril 2007

| | |
|---|---------|
| HUMEDAD NATURAL DE LA MUESTRA (%) | |
| PESO DE LA MUESTRA SECA (gr) | 250.000 |
| PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA (gr) | 76.200 |
| PESOS DE FINOS LAVADOS (gr) | 173.800 |

| PARAMETROS DE GRANULOMETRIA | | | | | |
|-----------------------------|---|--------|-------|--------|-------|
| D60 | - | Gravas | 1.08 | Gruesa | 0.00 |
| D30 | - | | | Fina | 1.08 |
| D10 | - | Arenas | 29.40 | Gruesa | 0.64 |
| Cu | - | | | Media | 9.04 |
| Cc | - | Finos | 69.52 | Fina | 19.72 |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA (%) |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 3" | 76.200 | | |
| 2 1/2" | 63.500 | | |
| 2" | 50.800 | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | |
| 1" | 25.400 | | |
| 3/4" | 19.050 | | |
| 1/2" | 12.700 | | |
| 3/8" | 9.525 | | |
| 1/4" | 6.350 | | 100.00 |
| N° 4 | 4.750 | 2.70 | 98.92 |
| N° 10 | 2.000 | 1.60 | 98.28 |
| N° 20 | 0.840 | 5.50 | 95.92 |
| N° 30 | 0.600 | 6.00 | 93.52 |
| N° 40 | 0.425 | 10.70 | 89.24 |
| N° 50 | 0.297 | 15.10 | 83.20 |
| N° 60 | 0.250 | 3.50 | 81.90 |
| N° 80 | 0.177 | 14.30 | 76.08 |
| N° 200 | 0.074 | 16.40 | 69.52 |
| FONDO | | | |
| Limos < 0.074mm-0.005mm. | | | |
| Arcillas < 0.005mm | | | |
| Coloides < 0.001mm | | | |





AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

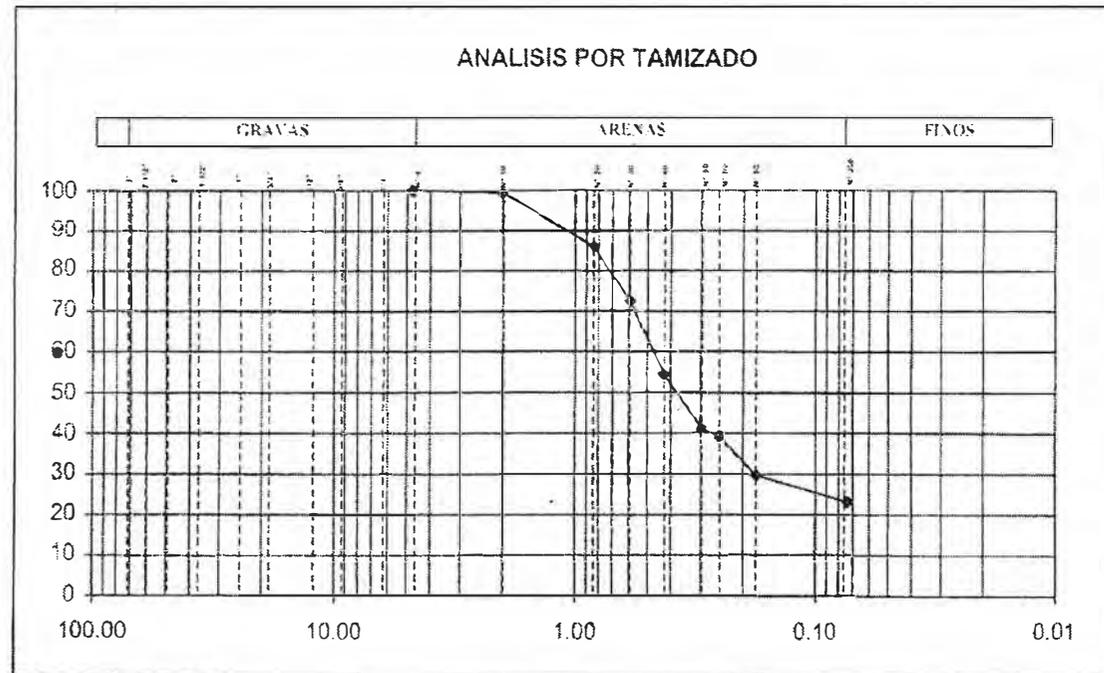
ASTM D 422

PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vias Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO: Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN: Laboratorio Nacional de Hidraulica - Universidad Nacional de Ingenieria
 CALIDAD: C - 1 MUESTRA: M - 3 PROF (m): 0.91-1.03
 ING RESP: ING J. MARTINEZ TECNICO Y F A / M.A.L./K.C.L. FECHA: Abril 2007

| | |
|---|---------|
| HUMEDAD NATURAL DE LA MUESTRA (%) | |
| PESO DE LA MUESTRA SECA (gr) | 230.000 |
| PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA (gr) | 176.600 |
| PESOS DE FINOS LAVADOS (gr) | 53.400 |

| PARAMETROS DE GRANULOMETRIA | | | | | |
|-----------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| D60 | 0.475 | Gravas | 0.00 | Gruesa | 0.00 |
| D30 | 0.180 | | | Fina | 0.00 |
| D10 | - | Arenas | 76.78 | Gruesa | 0.65 |
| Cu | - | | | Media | 44.78 |
| Cc | - | Finos | 23.22 | Fina | 31.35 |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA (%) |
|------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 3" | 76.200 | | |
| 2 1/2" | 63.500 | | |
| 2" | 50.800 | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | |
| 1" | 25.400 | | |
| 3/4" | 19.050 | | |
| 1/2" | 12.700 | | |
| 3/8" | 9.525 | | |
| 1/4" | 6.250 | | |
| N° 4 | 4.750 | | 100.00 |
| N° 10 | 2.000 | 1.50 | 99.35 |
| N° 20 | 0.840 | 30.60 | 96.04 |
| N° 30 | 0.590 | 31.10 | 72.62 |
| N° 40 | 0.425 | 41.30 | 54.57 |
| N° 50 | 0.297 | 31.50 | 40.87 |
| N° 60 | 0.250 | 4.40 | 38.95 |
| N° 80 | 0.177 | 21.40 | 29.85 |
| N° 200 | 0.074 | 14.95 | 23.22 |
| FONDO | | | |
| Limos 0.074mm-0.005mm. | | | |
| Arcillas < 0.005mm | | | |
| Coloides < 0.001mm. | | | |



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



AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D 422

PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vias Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO: Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACION: Laboratorio Nacional de Hidraulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 CALICATA: C-2 MUESTRA: M-1 PROF. (m): 0.00-0.32
 ING. RESP: ING. J. MARTINEZ TECNICO: Y.F.A./M.A.L./K.C.L. FECHA: Abril 2007

PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

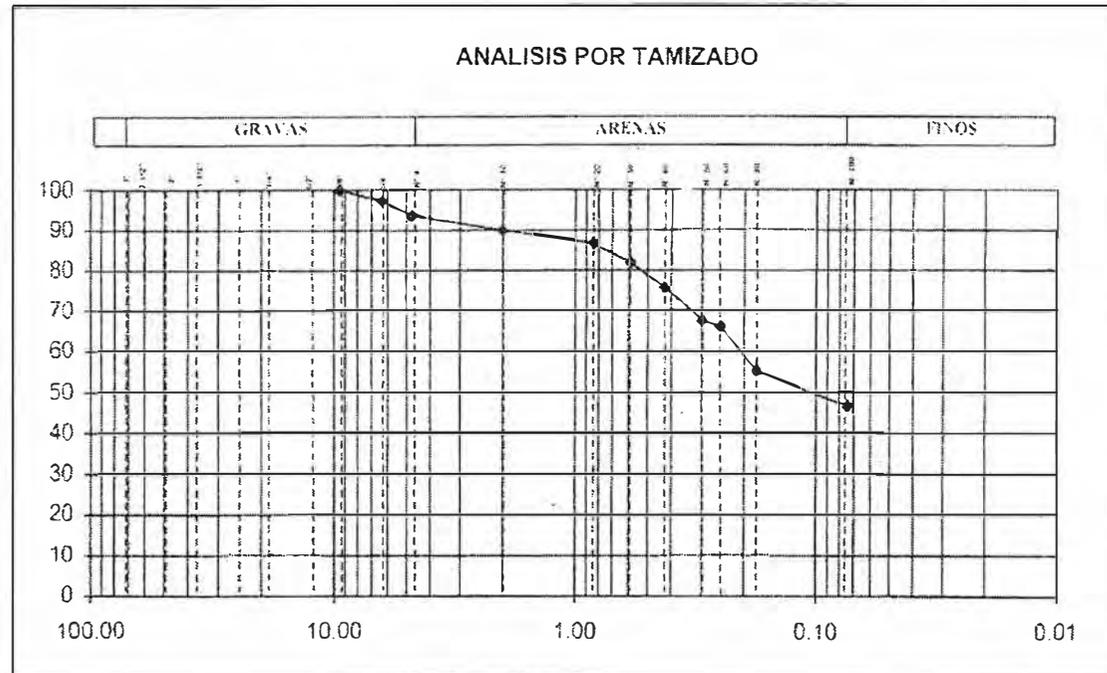
| | |
|---|---------|
| HUMEDAD NATURAL DE LA MUESTRA (%) | |
| PESO DE LA MUESTRA SECA (gr) | 220.600 |
| PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA (gr) | 117.800 |
| PESOS DE FINOS LAVADOS (gr) | 102.200 |

| | |
|-----|-----------|
| D60 | 0.210.210 |
| D30 | - |
| D10 | - |
| Cu | - |
| Cc | - |

| | |
|--------|-------|
| Gravas | 6.41 |
| Arenas | 47.14 |
| Finos | 46.45 |

| | |
|--------|-------|
| Gruesa | 0.00 |
| Fina | 6.41 |
| Gruesa | 3.64 |
| Media | 14.36 |
| Fina | 29.14 |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA (%) |
|------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 3" | 76.200 | | |
| 2 1/2" | 63.500 | | |
| 2" | 50.800 | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | |
| 1" | 25.400 | | |
| 3/4" | 19.050 | | |
| 1/2" | 12.700 | | |
| 3/8" | 9.525 | | 100.00 |
| 1/4" | 6.350 | 6.20 | 97.18 |
| N° 4 | 4.750 | 7.90 | 93.59 |
| N° 10 | 2.000 | 8.00 | 89.95 |
| N° 20 | 0.840 | 7.10 | 86.73 |
| N° 30 | 0.590 | 10.50 | 81.95 |
| N° 40 | 0.425 | 14.60 | 75.58 |
| N° 50 | 0.297 | 17.70 | 67.55 |
| N° 60 | 0.250 | 3.30 | 66.05 |
| N° 80 | 0.177 | 24.10 | 55.09 |
| N° 200 | 0.074 | 19.00 | 46.45 |
| FONDO | | | |
| Limos 0.074mm-0.005mm. | | | |
| Arcillas < 0.005mm. | | | |
| Coloides < 0.001mm. | | | |



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



AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

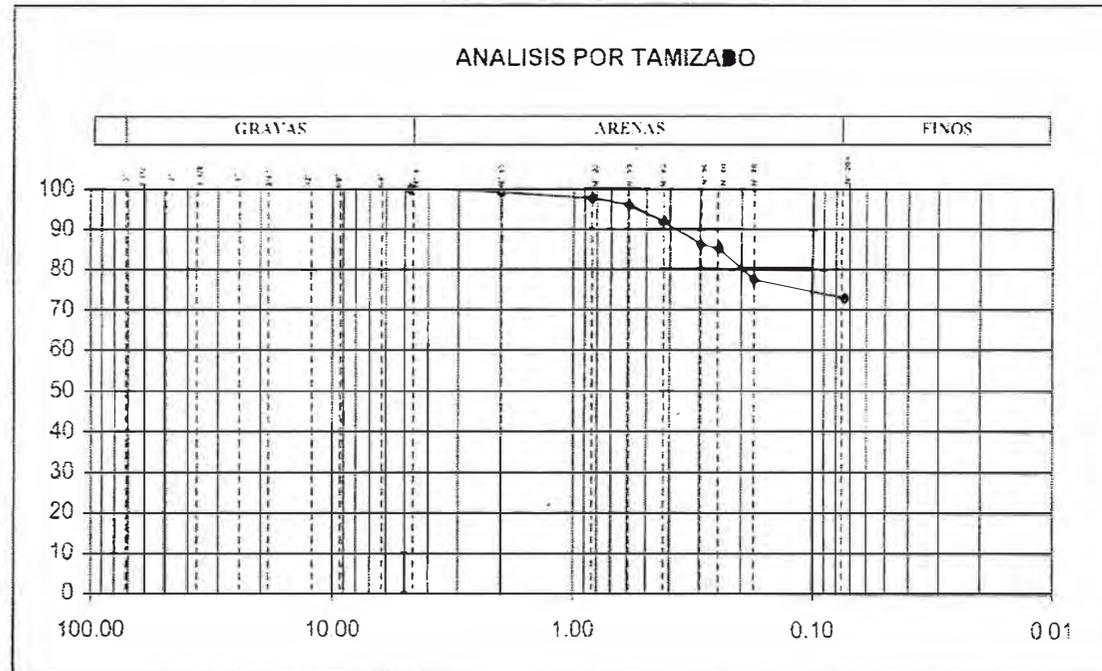
ASTM D 422

PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vias Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO: Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACION: Laboratorio Nacional de Hidraulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 CALICATA: C-2 MUESTRA M-2 PRCF (m³) 0.32-1.03
 ING RESP: ING J. MARTINEZ TECNICO Y.F.A. (M.A.L.) K.C.L. FECHA: Abril 2007

| | |
|---|---------|
| HUMEDAD NATURAL DE LA MUESTRA (%) | |
| PESO DE LA MUESTRA SECA (gr) | 250.000 |
| PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA (gr) | 67.760 |
| PESOS DE FINOS LAVADOS (gr) | 182.300 |

| PARAMETROS DE GRANULOMETRIA | | | |
|-----------------------------|---|--------|-------|
| D60 | - | Gravas | 0.00 |
| D30 | - | | |
| D10 | - | Arenas | 27.08 |
| Cu | - | | |
| Cc | - | | |
| | | Finos | 72.92 |
| | | Gruesa | 0.00 |
| | | Fina | 0.00 |
| | | Gruesa | 0.84 |
| | | Media | 7.36 |
| | | Fina | 18.88 |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA (%) |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 3" | 76.200 | | |
| 2 1/2" | 63.500 | | |
| 2" | 50.800 | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | |
| 1" | 25.400 | | |
| 3/4" | 19.050 | | |
| 1/2" | 12.700 | | |
| 3/8" | 9.525 | | |
| 1/4" | 6.350 | | |
| N° 4 | 4.750 | | 100.00 |
| N° 10 | 2.000 | 2.10 | 88.15 |
| N° 20 | 0.840 | 3.90 | 97.80 |
| N° 30 | 0.600 | 4.40 | 96.84 |
| N° 40 | 0.425 | 10.10 | 81.80 |
| N° 50 | 0.297 | 14.30 | 95.88 |
| N° 60 | 0.250 | 2.40 | 85.12 |
| N° 80 | 0.177 | 19.10 | 77.48 |
| N° 200 | 0.074 | 11.40 | 72.92 |
| FONDO | | | |
| Limos < 0.074mm-0.005mm. | | | |
| Arcillas < 0.005mm. | | | |
| Coloides < 0.001mm. | | | |



Av. Tupac Amaru Puerta N° 4
 Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería
 Telf: (011) 481-1070 anexo 302 Cel: 99912987 95242588
 e-mail: inhgeo@yahoo.com
 inh_uni@uni.edu.pe



AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D 422

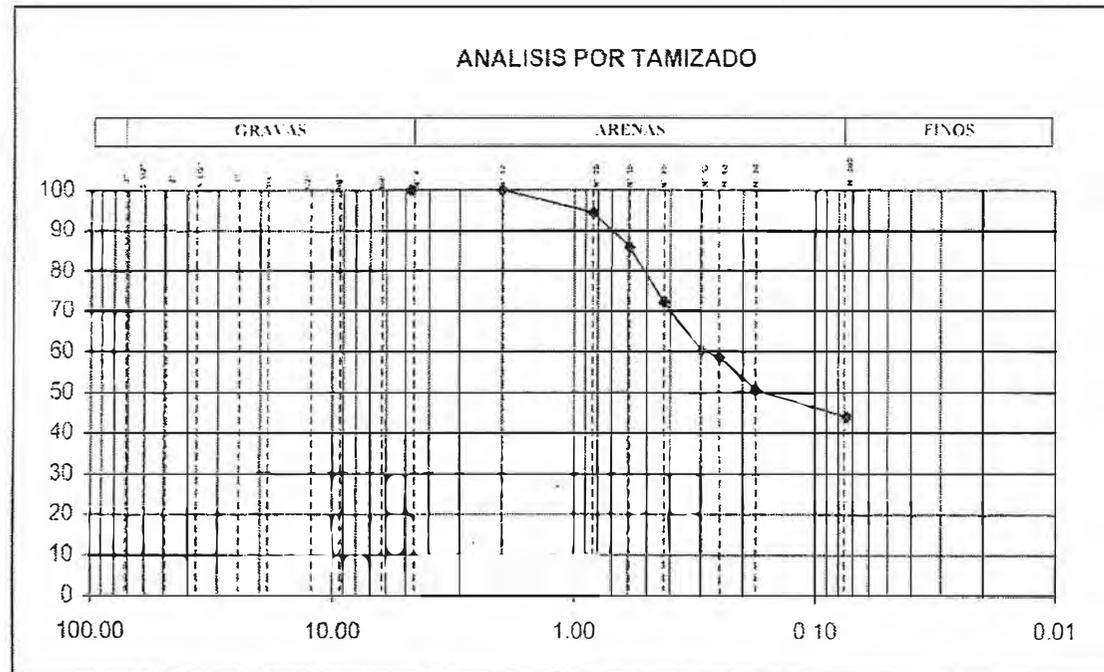
PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vias Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO: Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 CALICATA: C - 2 MUESTRA: M - 3 PROF. (m): 1.03 - 1.17
 ING. RESP: ING. J. MARTINEZ TÉCNICO: Y.F.A./M.A.L./K.C.L. FECHA: Abril 2007

HUMEDAD NATURAL DE LA MUESTRA (%):
 PESO DE LA MUESTRA SECA (gr):
 PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA (gr):
 PESOS DE FINOS LAVADOS (gr):

| | |
|--|---------|
| | |
| | 250.100 |
| | 140.550 |
| | 109.550 |

| PARAMETROS DE GRANULOMETRIA | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-----|--------|-------|--------|-------|
| D60 | 0.292 | 292 | Gravas | 0.00 | Gruesa | 0.00 |
| D30 | - | - | Arenas | 56.20 | Fina | 0.00 |
| D10 | - | - | | | Gruesa | 0.02 |
| Cu | - | - | Finos | 43.80 | Media | 27.87 |
| Cc | - | - | | | Fina | 28.31 |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA (%) |
|------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 3" | 76.200 | | |
| 2 1/2" | 63.500 | | |
| 2" | 50.800 | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | |
| 1" | 25.400 | | |
| 3/4" | 19.050 | | |
| 1/2" | 12.700 | | |
| 3/8" | 9.525 | | |
| 1/4" | 6.350 | | |
| N° 4 | 4.750 | | 100.00 |
| N° 10 | 2.000 | 0.05 | 99.99 |
| N° 20 | 0.840 | 14.20 | 94.30 |
| N° 30 | 0.590 | 21.40 | 85.75 |
| N° 40 | 0.426 | 34.10 | 72.11 |
| N° 50 | 0.297 | 29.80 | 60.20 |
| N° 60 | 0.250 | 4.30 | 58.48 |
| N° 80 | 0.177 | 19.40 | 50.72 |
| N° 200 | 0.074 | 17.30 | 43.80 |
| FONDO | | | |
| Limos 0.074mm-0.005mm. | | | |
| Arcillas < 0.005mm. | | | |
| Coloides < 0.001mm. | | | |



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



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

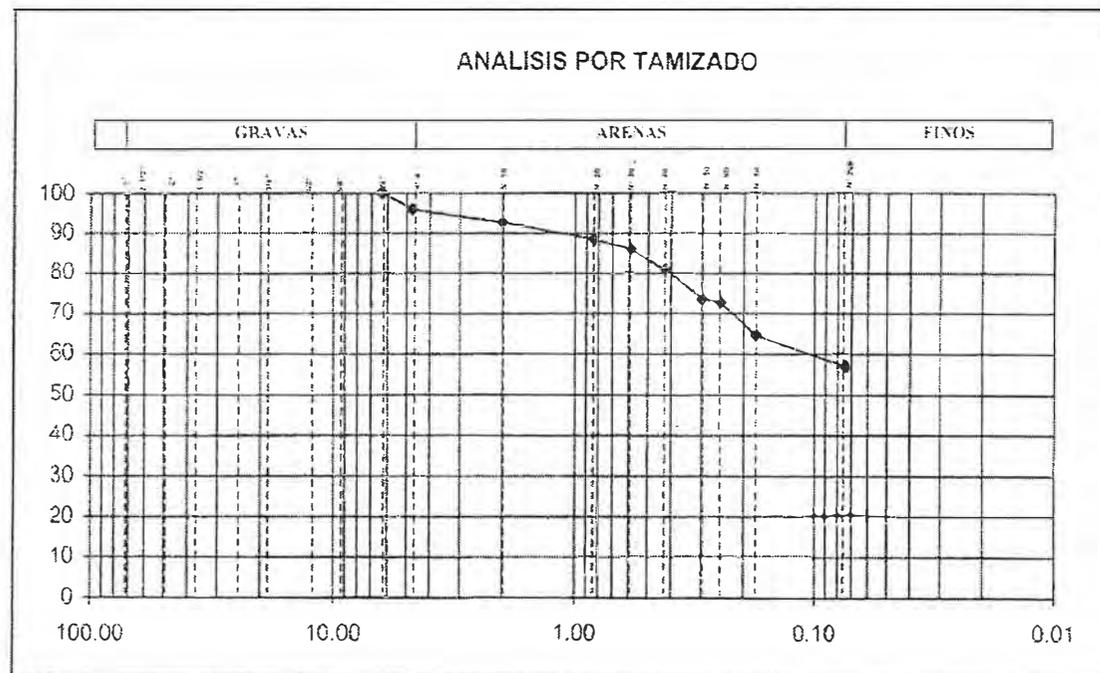
ASTM D 422

PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO: Grupo 6 - Curso de Titulación 2005 - FIC
 UBICACIÓN: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 CALICATA: C - 3 MUESTRA: M - 1 PROF (m): 0.00-0.34
 ING RESP: ING. J. MARTINEZ TECNICO: Y.F.A./M.A.L./K.C.L FECHA: Abril 2007

| | |
|--|---------|
| HUMEDAD NATURAL DE LA MUESTRA (%) | |
| PESO DE LA MUESTRA SECA (gr.) | 220.000 |
| PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA (gr.) | 94.800 |
| PESOS DE FINOS LAVADOS (gr.) | 125.200 |

| PARAMETROS DE GRANULOMETRIA | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-----|--------|-------|--------|-------|
| D60 | 0.115 | 115 | Gravas | 4.05 | Gruesa | 0.00 |
| D30 | - | | | | Fina | 4.05 |
| D10 | - | | Arenas | 39.05 | Gruesa | 3.32 |
| Cu | - | | | | Media | 11.73 |
| Cc | - | | | | Fina | 24.00 |
| | | | Finos | 56.91 | | |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA (%) |
|------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 3" | 76.200 | | |
| 2 1/2" | 63.500 | | |
| 2" | 50.800 | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | |
| 1" | 25.400 | | |
| 3/4" | 19.050 | | |
| 1/2" | 12.750 | | |
| 3/8" | 9.525 | | |
| 1/4" | 6.350 | | 100.00 |
| N° 4 | 4.750 | 8.90 | 95.95 |
| N° 10 | 2.000 | 7.30 | 92.64 |
| N° 20 | 0.840 | 9.10 | 88.50 |
| N° 30 | 0.590 | 5.40 | 85.05 |
| N° 40 | 0.425 | 11.30 | 80.91 |
| N° 50 | 0.297 | 16.20 | 73.55 |
| N° 60 | 0.250 | 2.00 | 72.64 |
| N° 80 | 0.177 | 17.60 | 64.64 |
| N° 200 | 0.074 | 17.00 | 56.91 |
| FONDO | | | |
| Limos 0.074mm-0.005mm. | | | |
| Arcillas < 0.005mm | | | |
| Coloides < 0.001mm | | | |



Av. Tupac Amari 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

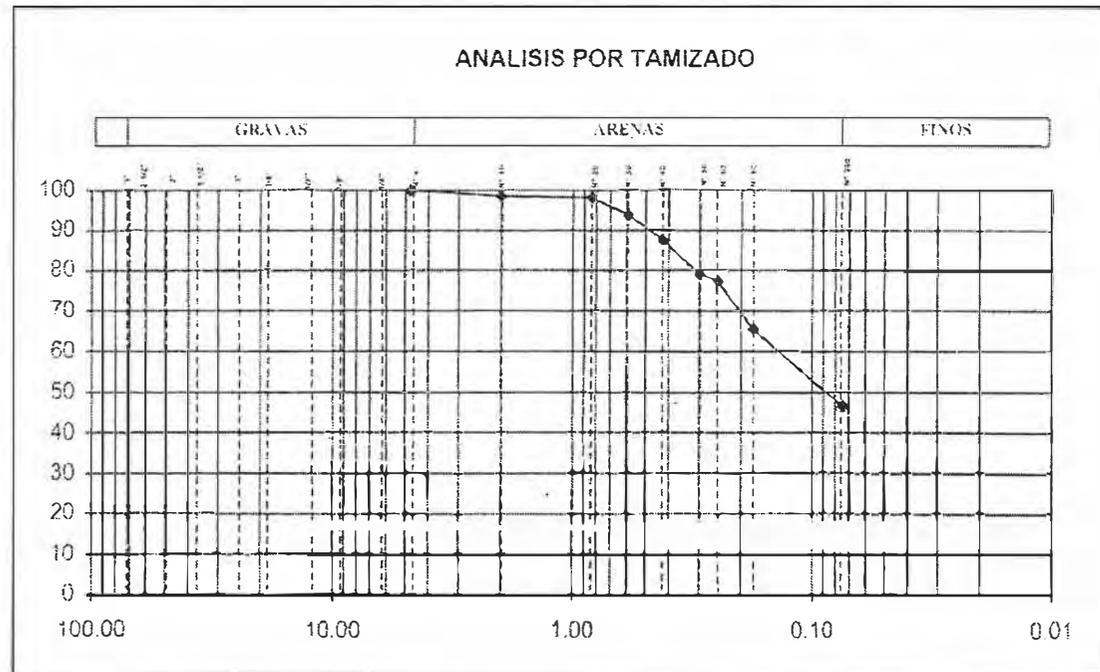
PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO: Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 CALICATA: C-3 MUESTRA: M-2 PROF. (m): 0.34-0.70
 ING. RESP: ING. J. MARTINEZ TÉCNICO: Y.F.A./M.A./K.C.L. FECHA: Abril 2007

HUMEDAD NATURAL DE LA MUESTRA (%)
 PESO DE LA MUESTRA SECA (gr) -
 PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA (gr)
 PESOS DE FINOS LAVADOS (gr)

| |
|---------|
| |
| 250.000 |
| 134.100 |
| 115.900 |

| PARAMETROS DE GRANULOMETRIA | | |
|-----------------------------|-------|---|
| D60 | 0.149 | 1 |
| D30 | - | - |
| D10 | - | - |
| Cu | - | - |
| Cc | - | - |
| Gravas | 0.00 | Gruesa: 0.00 Fina: 0.00 |
| Arenas | 53.64 | Gruesa: 1.48 Media: 10.88 Fina: 41.28 |
| Finos | 46.36 | |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA (%) |
|------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 3" | 76.200 | | |
| 2 1/2" | 63.500 | | |
| 2" | 50.800 | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | |
| 1" | 25.400 | | |
| 3/4" | 19.050 | | |
| 1/2" | 12.700 | | |
| 3/8" | 9.525 | | |
| 1/4" | 6.350 | | |
| N° 4 | 4.750 | | 100.00 |
| N° 10 | 2.000 | 3.70 | 98.52 |
| N° 20 | 0.840 | 0.80 | 96.26 |
| N° 30 | 0.590 | 11.20 | 93.72 |
| N° 40 | 0.425 | 15.20 | 87.64 |
| N° 50 | 0.297 | 21.80 | 78.92 |
| N° 60 | 0.250 | 4.40 | 77.16 |
| N° 80 | 0.177 | 30.10 | 55.12 |
| N° 200 | 0.074 | 46.90 | 46.36 |
| FONDO | | | |
| Limos 0.074mm-0.005mm. | | | |
| Arcillas < 0.005mm. | | | |
| Coloides < 0.001mm. | | | |



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



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



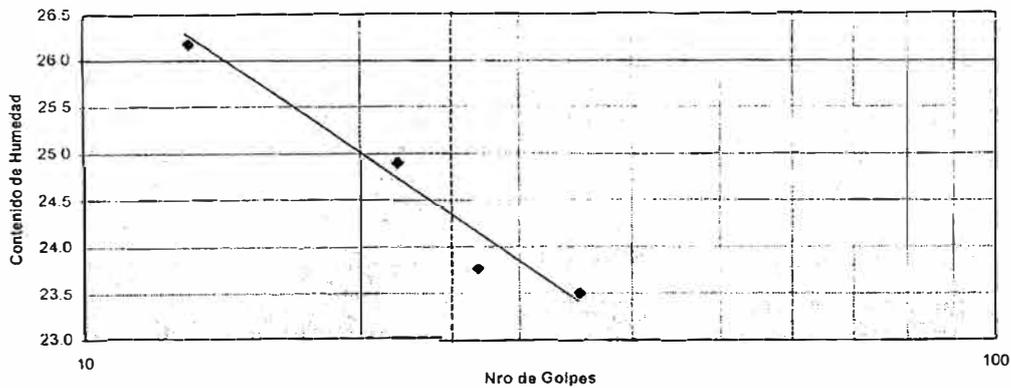
LIMITES DE ATTERBERG

| | |
|---|--------------------------------|
| SOLICITANTE: Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC | FECHA: Abril 2007 |
| PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb | |
| LOCALIZACION: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingenieria | |
| SONDAJE: C - 1 | OPERADOR: Y.F.A./M.A.L./K.C.L. |
| MUESTRA: M - 1 PROF (m) : 0.00-0.26 | REVISADO: ING. J. MARTINEZ |

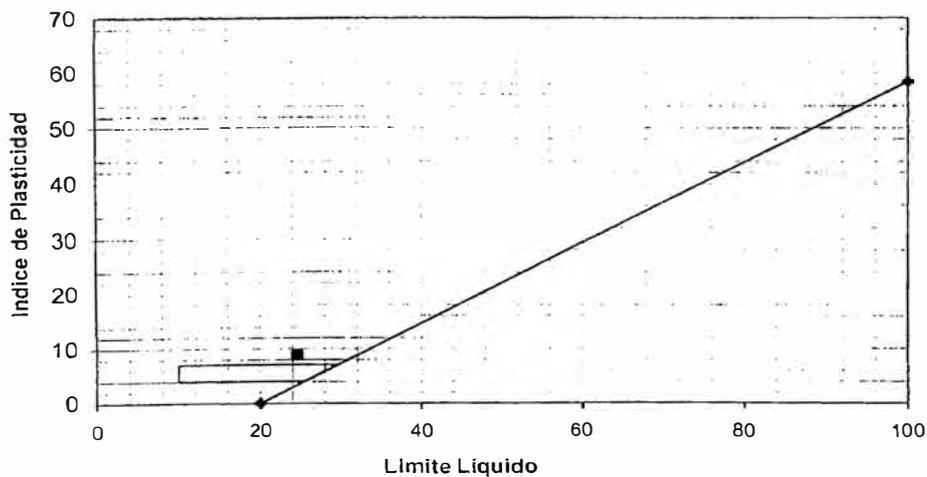
| | ENSAYO No | LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318) | | LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318) | | | |
|---|--------------------------------|----------------------------------|-------|---------------------------------|--------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | CAPSULA N. | 161 | 163 | 344 | 169 | 362 | 313 |
| | NUMERO DE GOLPES | | | 13 | 22 | 27 | 35 |
| 1 | PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO | 13.90 | 15.00 | 18.90 | 22.00 | 18.10 | 14.90 |
| 2 | PESO CAPSULA + SUELO SECO | 13.50 | 14.50 | 17.50 | 20.80 | 16.90 | 14.00 |
| 3 | PESO CAPSULA | 10.93 | 11.38 | 12.15 | 15.98 | 11.85 | 10.17 |
| 4 | PESO AGUA (1-2) | 0.40 | 0.50 | 1.40 | 1.20 | 1.20 | 0.90 |
| 5 | PESO SUELO SECO (2-3) | 2.57 | 3.12 | 5.35 | 4.82 | 5.05 | 3.83 |
| 6 | CONTENIDO DE HUMEDAD (4/5*100) | 15.56 | 16.03 | 26.17 | 24.90 | 23.76 | 23.50 |
| | | L.P. = | 15.79 | | L.L. = | 24.58 | |

I.P. = 8.79

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CARTA DE PLASTICIDAD



DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO: CL

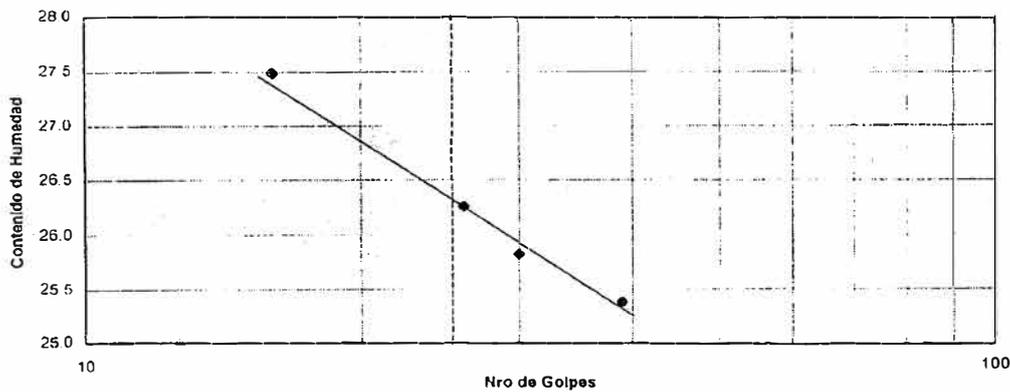


LIMITES DE ATTERBERG

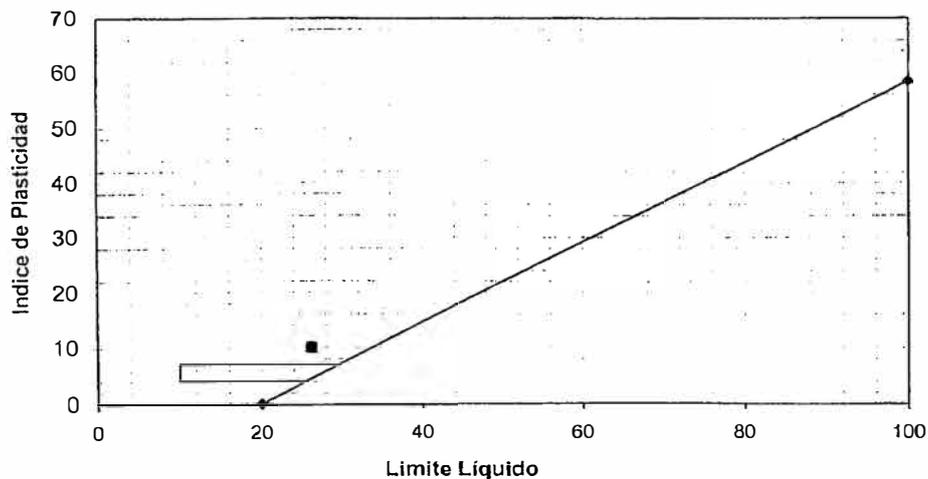
| | | | | | | | |
|---|--------------------------------|----------------------------------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|
| SOLICITANTE: Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC | | | | FECHA: Abril 2007 | | | |
| PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb | | | | | | | |
| LOCALIZACION: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería | | | | | | | |
| SONDAJE: C - 1 | | | | OPERADOR: Y.F.A./M.A.L./K.C.L. | | | |
| MUESTRA: M - 2 | | | | REVISADO: ING. J. MARTINEZ | | | |
| PROF (m): 0.26-0.91 | | | | | | | |
| | | LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318) | | LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318) | | | |
| | ENSAYO No | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | CAPSULA N. | 365 | 366 | 325 | 381 | 374 | 71 |
| | NUMERO DE GOLPES | | | 16 | 26 | 30 | 39 |
| 1 | PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO | 17.30 | 17.20 | 18.40 | 17.10 | 19.40 | 18.30 |
| 2 | PESO CAPSULA + SUELO SECO | 16.60 | 16.40 | 17.10 | 15.90 | 17.90 | 16.80 |
| 3 | PESO CAPSULA | 12.10 | 11.62 | 12.37 | 11.33 | 12.09 | 10.89 |
| 4 | PESO AGUA (1-2) | 0.70 | 0.80 | 1.30 | 1.20 | 1.50 | 1.50 |
| 5 | PESO SUELO SECO (2-3) | 4.50 | 4.78 | 4.73 | 4.57 | 5.81 | 5.91 |
| 6 | CONTENIDO DE HUMEDAD (4/5*100) | 15.56 | 16.74 | 27.48 | 26.26 | 25.82 | 25.38 |
| | | L.P. = 16.15 | | L.L. = 26.24 | | | |

I.P. = 10.09

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CARTA DE PLASTICIDAD



DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO: CL



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



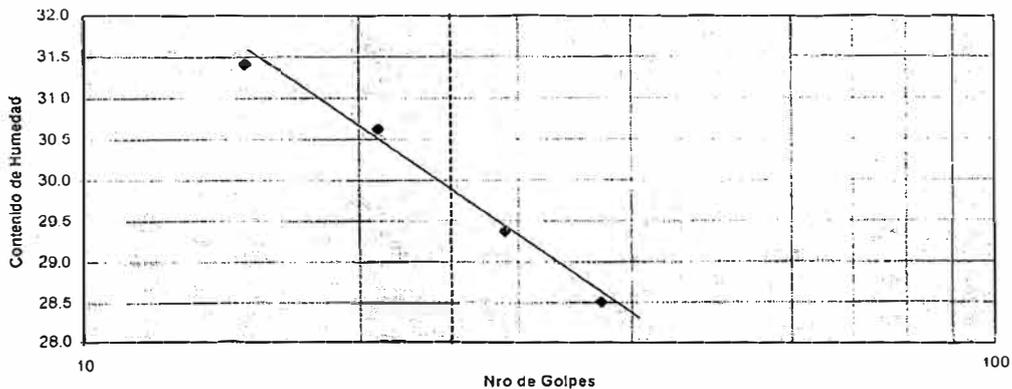
LIMITES DE ATTERBERG

| | |
|---|--------------------------------|
| SOLICITANTE: Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC | FECHA: Abri 2007 |
| PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb | |
| LOCALIZACION: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería | |
| SONDAJE: C - 2 | OPERADOR: Y.F.A./M.A.L./K.C.L. |
| MUESTRA: M - 1 PROF (m) : 0.00-0.32 | REVISADO: ING. J. MARTINEZ |

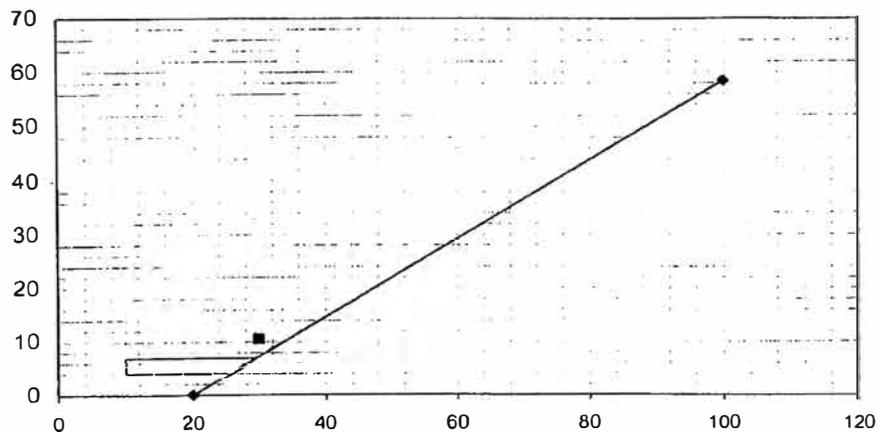
| | LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318) | | LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318) | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ENSAYO No | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CAPSULA N. | 64 | 67 | 39 | 60 | 55 | 28 |
| NUMERO DE GOLPES | | | 15 | 21 | 29 | 37 |
| 1 PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO | 22.68 | 19.11 | 26.90 | 24.11 | 25.51 | 24.11 |
| 2 PESO CAPSULA + SUELO SECO | 21.43 | 17.89 | 23.85 | 21.02 | 22.57 | 21.57 |
| 3 PESO CAPSULA | 14.91 | 11.69 | 14.14 | 10.93 | 12.56 | 12.66 |
| 4 PESO AGUA (1-2) | 1.25 | 1.22 | 3.05 | 3.09 | 2.94 | 2.54 |
| 5 PESO SUELO SECO (2-3) | 6.52 | 6.20 | 9.71 | 10.09 | 10.01 | 8.91 |
| 6 CONTENIDO DE HUMEDAD (4/5*100) | 19.17 | 19.68 | 31.41 | 30.62 | 29.37 | 28.51 |
| | L.P. = 19.42 | | L.L. = 29.98 | | | |

I.P. = 10.55

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CARTA DE PLASTICIDAD



DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO: CL

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**



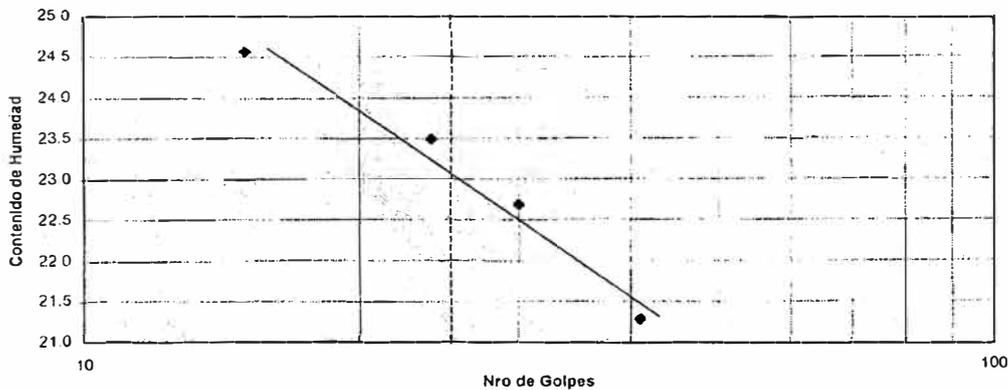
LIMITES DE ATTERBERG

| | |
|---|--------------------------------|
| SOLICITANTE: Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC | FECHA: Abril 2007 |
| PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb | |
| LOCALIZACION: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería | |
| SONDAJE: C - 2 | OPERADOR: Y.F.A./M.A.L./K.C.L. |
| MUESTRA: M - 2 PROF (m) : 0.32-1.03 | REVISADO: ING. J. MARTINEZ |

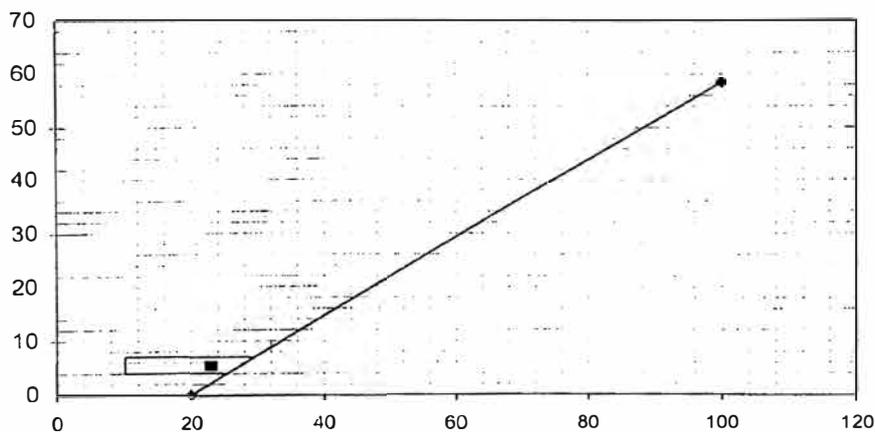
| | LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318) | | LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318) | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ENSAYO No | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CAPSULA N. | 372 | 327 | 301 | 8 | 331 | 18 |
| NUMERO DE GOLPES | | | 15 | 24 | 30 | 41 |
| 1 PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO | 14.80 | 15.50 | 15.70 | 16.90 | 16.90 | 17.10 |
| 2 PESO CAPSULA + SUELO SECO | 14.30 | 14.90 | 14.70 | 16.20 | 15.70 | 16.70 |
| 3 PESO CAPSULA | 11.46 | 11.49 | 10.63 | 13.22 | 10.41 | 14.82 |
| 4 PESO AGUA (1-2) | 0.50 | 0.60 | 1.00 | 0.70 | 1.20 | 0.40 |
| 5 PESO SUELO SECO (2-3) | 2.84 | 3.41 | 4.07 | 2.98 | 5.29 | 1.88 |
| 6 CONTENIDO DE HUMEDAD (4/5*100) | 17.61 | 17.60 | 24.57 | 23.49 | 22.68 | 21.28 |
| | L.P. = 17.60 | | L.L. = 23.01 | | | |

I.P. = 5.40

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CARTA DE PLASTICIDAD



DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO: CL-ML

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**



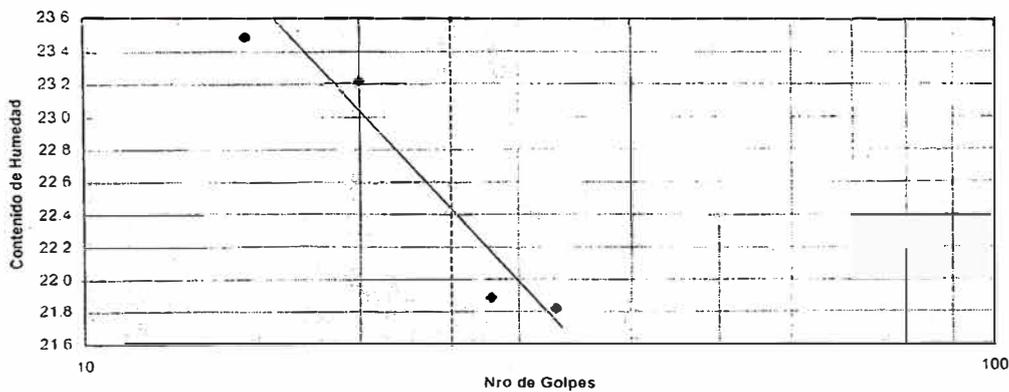
LIMITES DE ATTERBERG

| | | | |
|---------------|---|-----------|----------------------|
| SOLICITANTE: | Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC | FECHA: | Abril 2007 |
| PROYECTO: | Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb | | |
| LOCALIZACION: | Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería | | |
| SONDAJE: | C - 3 | OPERADOR: | Y.F.A./M.A.L./K.C.L. |
| MUESTRA: | M - 1 | PROF (m): | 0.00-0.34 |
| | | REVISADO: | ING. J. MARTINEZ |

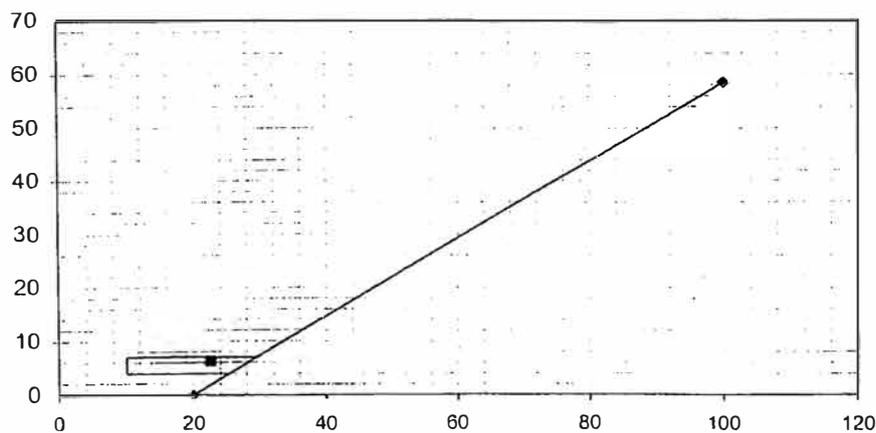
| ENSAYO No | LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318) | | LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318) | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CAPSULA N. | 142 | 330 | 309 | 320 | 335 | 312 |
| NUMERO DE GOLPES | | | 15 | 20 | 28 | 33 |
| 1 PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO | 14.00 | 13.70 | 18.50 | 17.80 | 18.80 | 17.30 |
| 2 PESO CAPSULA + SUELO SECO | 13.60 | 13.20 | 17.30 | 16.30 | 17.50 | 16.10 |
| 3 PESO CAPSULA | 10.88 | 10.43 | 12.19 | 9.84 | 11.56 | 10.60 |
| 4 PESO AGUA (1-2) | 0.40 | 0.50 | 1.20 | 1.50 | 1.30 | 1.20 |
| 5 PESO SUELO SECO (2-3) | 2.72 | 2.77 | 5.11 | 6.46 | 5.94 | 5.50 |
| 6 CONTENIDO DE HUMEDAD (4/5*100) | 14.71 | 18.05 | 23.48 | 23.22 | 21.89 | 21.82 |
| | L.P. = 16.38 | | L.L. = 22.60 | | | |

I.P. = 6.22

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CARTA DE PLASTICIDAD



DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO: CL-ML

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**

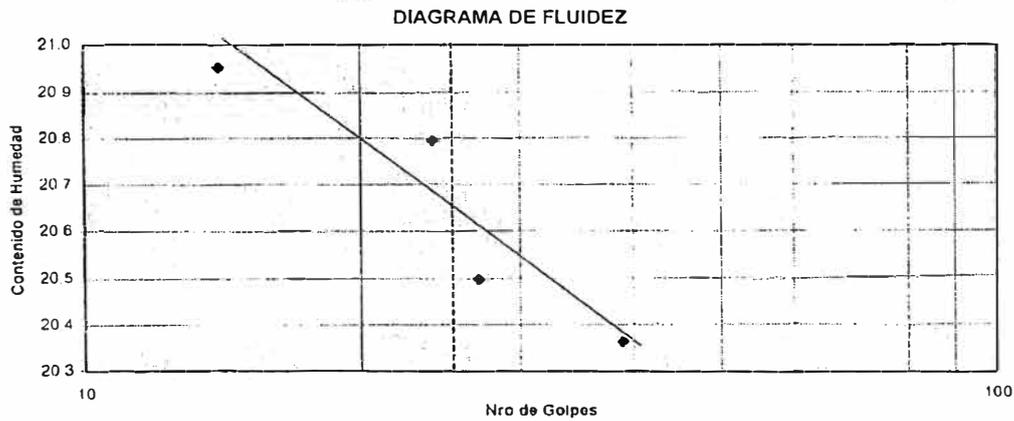


LIMITES DE ATTERBERG

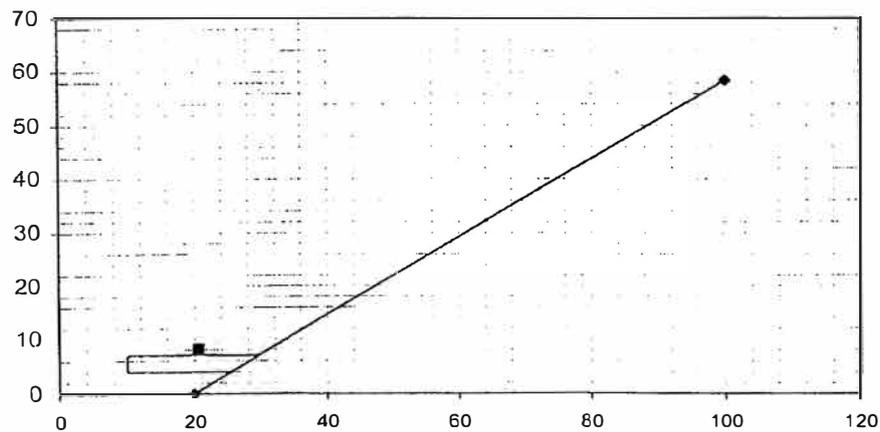
| | |
|---|--------------------------------|
| SOLICITANTE: Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC | FECHA: Abril 2007 |
| PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb | |
| LOCALIZACION: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería | |
| SONDAJE: C - 3 | OPERADOR: Y.F.A./M.A.L./K.C.L. |
| MUESTRA: M - 2 PROF (m) : 0.34-0.70 | REVISADO: ING. J. MARTINEZ |

| ENSAYO No | LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318) | | LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318) | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CAPSULA N. | 361 | 315 | 310 | 377 | 317 | 356 |
| NUMERO DE GOLPES | | | 14 | 24 | 27 | 39 |
| 1 PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO | 14.70 | 14.30 | 18.00 | 17.30 | 19.40 | 15.30 |
| 2 PESO CAPSULA + SUELO SECO | 14.40 | 13.80 | 16.90 | 16.20 | 18.00 | 14.40 |
| 3 PESO CAPSULA | 11.62 | 10.28 | 11.65 | 10.91 | 11.17 | 9.98 |
| 4 PESO AGUA (1-2) | 0.30 | 0.50 | 1.10 | 1.10 | 1.40 | 0.90 |
| 5 PESO SUELO SECO (2-3) | 2.78 | 3.52 | 5.25 | 5.29 | 6.83 | 4.42 |
| 6 CONTENIDO DE HUMEDAD (4/5*100) | 10.79 | 14.20 | 20.95 | 20.79 | 20.50 | 20.36 |
| | L.P. = 12.50 | | L.L. = 20.65 | | | |

I.P. = 8.15



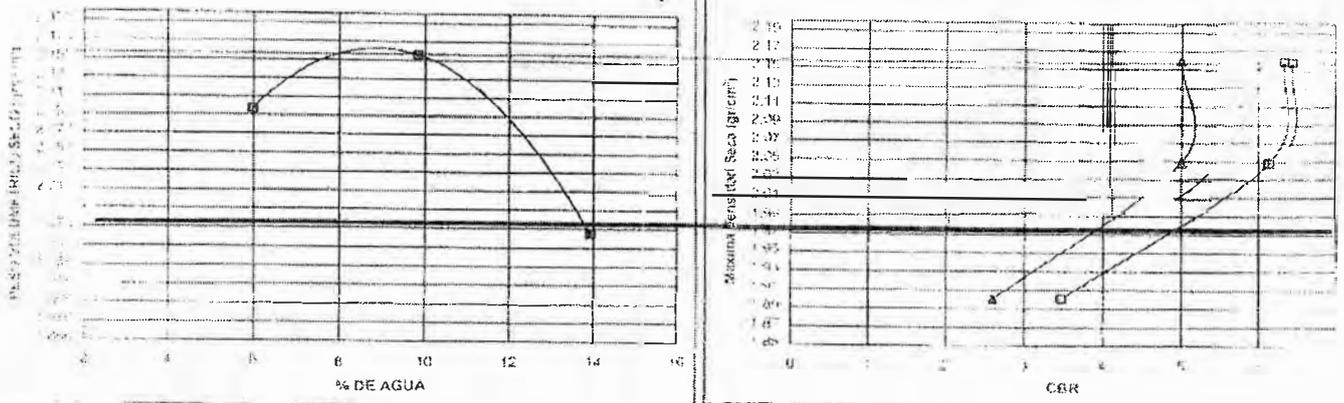
CARTA DE PLASTICIDAD



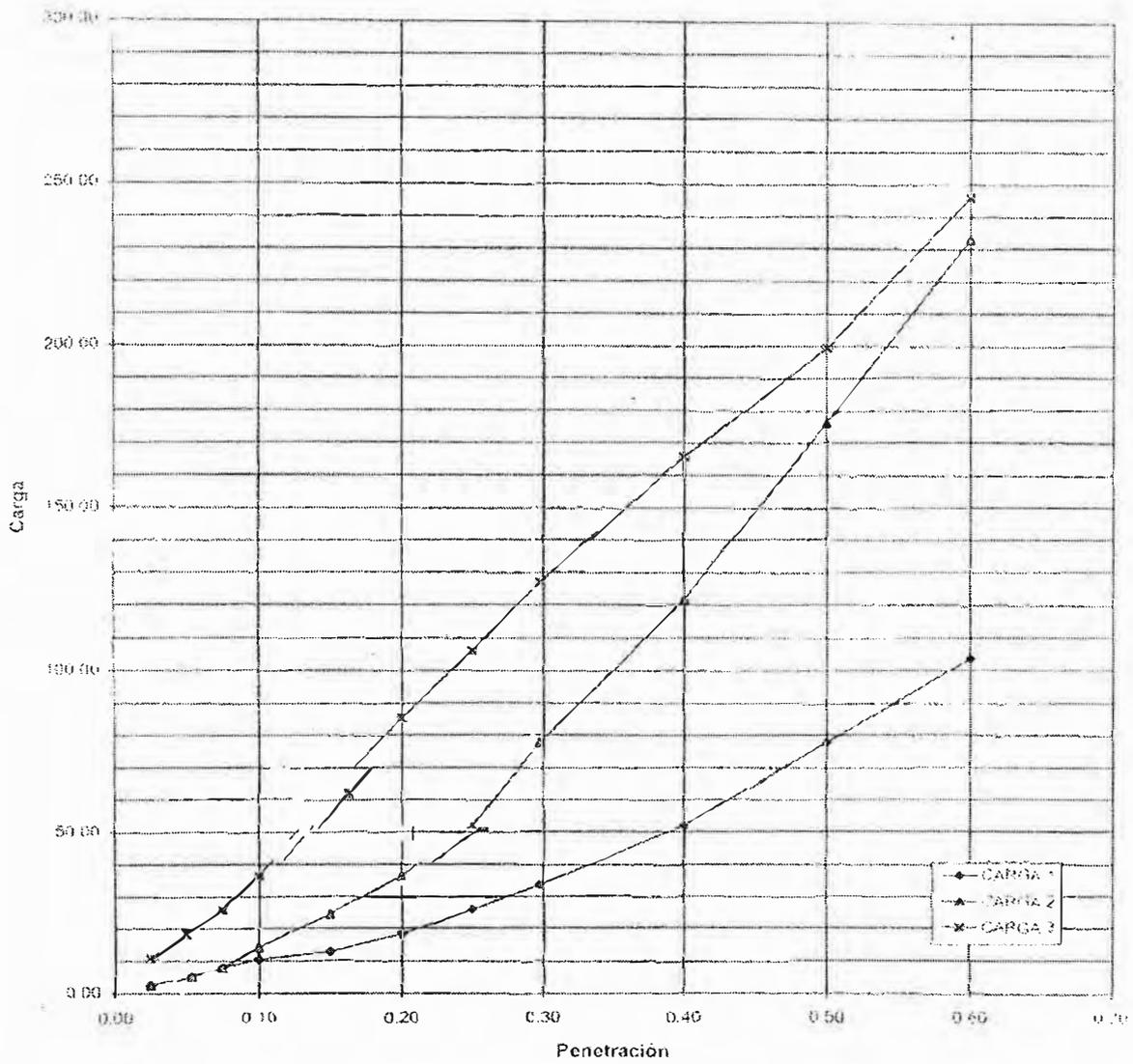
DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO: CL

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

Fig. 1.16

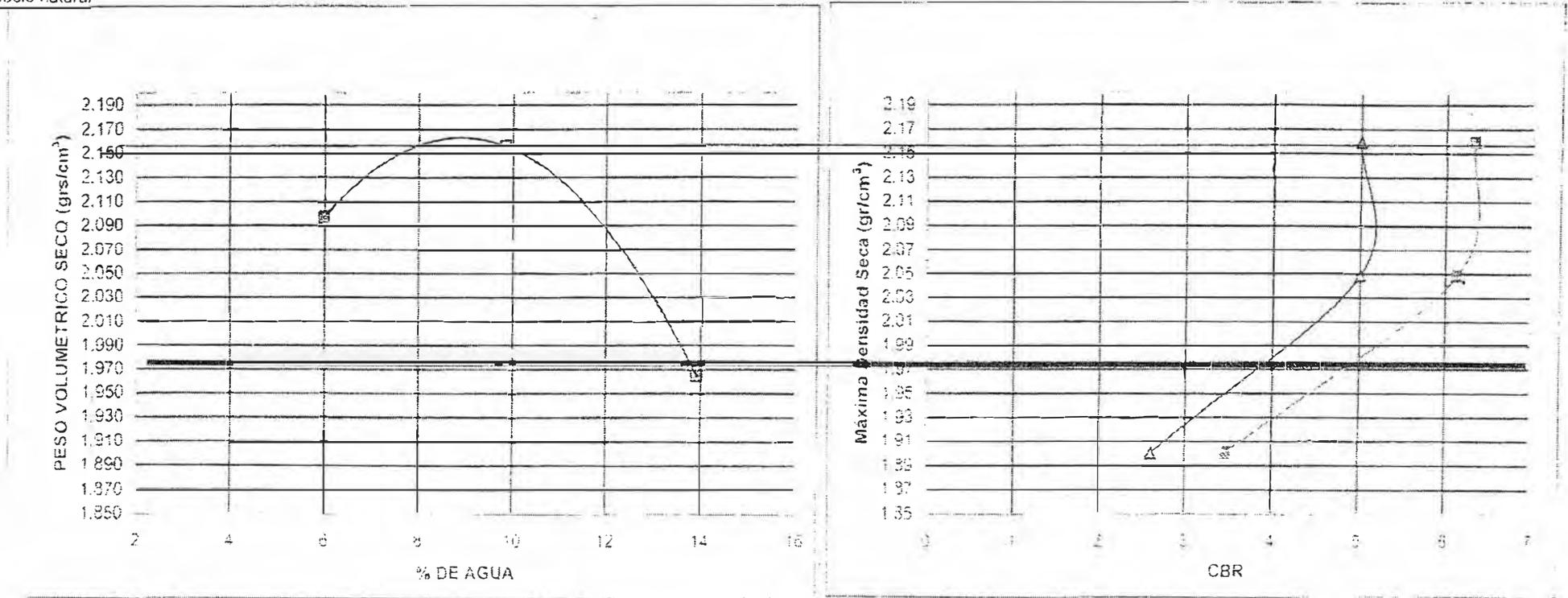


ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA

Suelo natural





ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

ASTM D 422

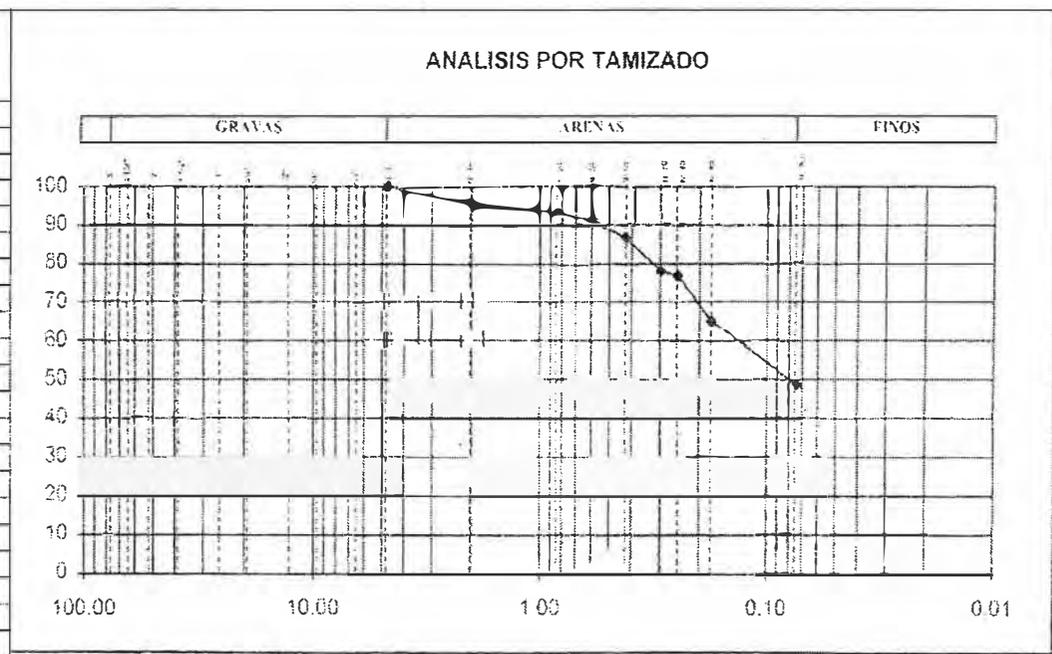
PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geowed
 SOLICITADO: Grupo 6 del Curso de Titulación
 UBICACIÓN: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 CALICATA: MUESTRA M-1 CBR PROF. (gr):
 ING. RESP.: ING. J. MARTÍNEZ TÉCNICO KOLIMAL Y F.A. FECHA: Marzo 2007

PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

| | | | | | |
|-----|-------|--------|-------|--------|-------|
| D60 | 0.146 | Gravas | 0.00 | Gruesa | 0.00 |
| D30 | - | | | Fina | 0.00 |
| D10 | - | Arenas | 51.32 | Gruesa | 4.61 |
| Cu | - | | | Media | 8.66 |
| Cc | - | | | Fina | 38.06 |
| | | Finos | 48.68 | | |

| | |
|---|---------|
| HUMEDAD NATURAL DE LA MUESTRA (%) | |
| PESO DE LA MUESTRA SECA (gr) | 355.600 |
| PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA (gr) | 182.500 |
| PESOS DE FINOS LAVADOS (gr) | 173.200 |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE PARCIAL RETENIDO (%) |
|------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------------------|
| 3" | 76.200 | | |
| 2 1/2" | 63.500 | | |
| 2" | 50.800 | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | |
| 1" | 25.400 | | |
| 3/4" | 19.050 | | |
| 1/2" | 12.700 | | |
| 3/8" | 9.525 | | |
| 1/4" | 6.350 | | |
| Nº 4 | 4.750 | | |
| Nº 10 | 2.000 | 18.40 | 5.18 |
| Nº 20 | 0.840 | 8.20 | 2.30 |
| Nº 30 | 0.600 | 7.60 | 2.14 |
| Nº 40 | 0.420 | 15.10 | 4.24 |
| Nº 60 | 0.250 | 31.10 | 8.74 |
| Nº 80 | 0.175 | 42.40 | 11.92 |
| Nº 100 | 0.149 | 51.60 | 14.51 |
| FINOS | | 173.20 | 48.68 |
| Lineas 0.075mm-0.095mm | | | 0.00 |
| Arillos - 0.095mm | | | |
| Compu - 0.095mm | | | |





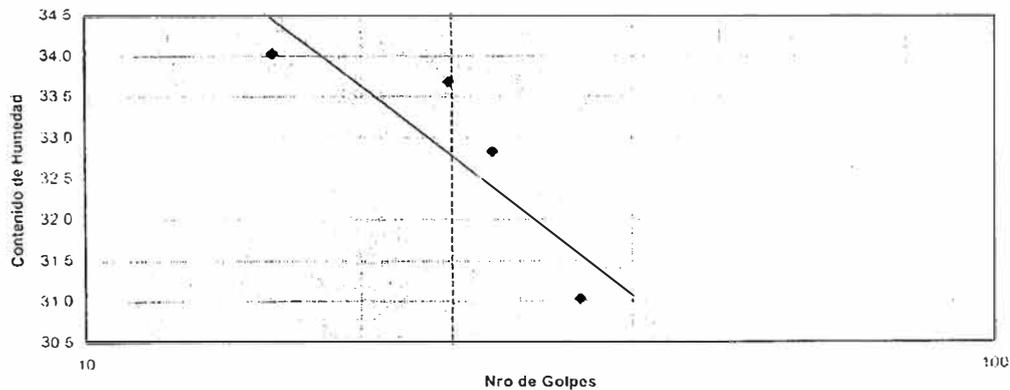
LIMITES DE ATTERBERG

| | | | |
|--------------|---|----------|-----------------|
| SOLICITANTE | Grupo 6 del Curso de Titulacion | FECHA | MARZO 2007 |
| PROYECTO | Mejoramiento Estructural de Vias Afirmadas con el Sistema Geow | ENSAYO | - |
| LOCALIZACION | Laboratorio Nacional de Hidraulica - Universidad Nacional de Inge | OPERADOR | M.A.L /K C.L. |
| SONDAJE | | REVISADO | ING J. MARTINEZ |
| MUESTRA | CBR PROF (m) : | | |

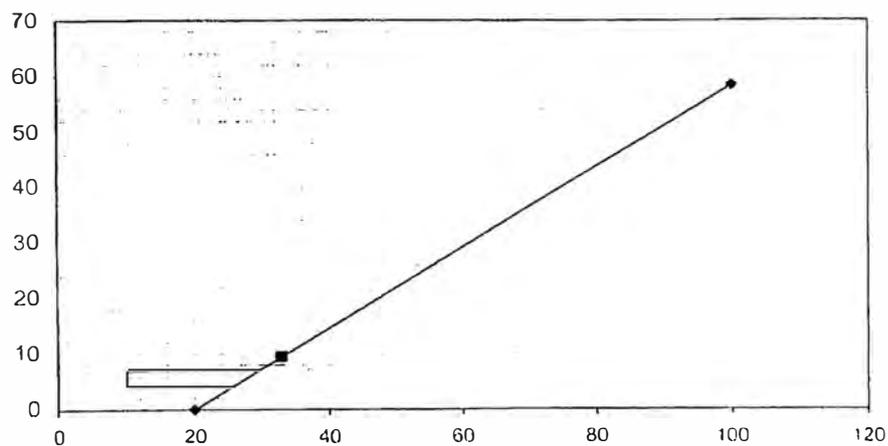
| | ENSAYO No | LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318) | | LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318) | | | |
|---|--------------------------------|-------------------------------|-------|------------------------------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | CAPSULA N. | 374 | 367 | 306 | 352 | 311 | 330 |
| | NUMERO DE GOLPES | | | 16 | 25 | 28 | 35 |
| 1 | PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO | 14.65 | 13.87 | 19.10 | 17.79 | 21.96 | 23.45 |
| 2 | PESO CAPSULA + SUELO SECO | 14.16 | 13.28 | 16.98 | 15.86 | 19.57 | 20.63 |
| 3 | PESO CAPSULA | 12.09 | 10.73 | 10.75 | 10.13 | 12.29 | 11.54 |
| 4 | PESO AGUA (1-2) | 0.49 | 0.59 | 2.12 | 1.93 | 2.39 | 2.82 |
| 5 | PESO SUELO SECO (2-3) | 2.07 | 2.55 | 6.23 | 5.73 | 7.28 | 9.09 |
| 6 | CONTENIDO DE HUMEDAD (4/5*100) | 23.67 | 23.14 | 34.03 | 33.69 | 32.83 | 31.02 |
| | | L.P. = 23.40 | | L.L. = 32.89 | | | |

I.P. = 9.49

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CARTA DE PLASTICIDAD



DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO: CL



LABORATORIO GEOTECNICO

PROYECTO: PAVIMENTACION
SOLICITADO: GRUPO N° 6
UNIDAD TECNICA: LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA - UNI
RECEPTOR: M.A.L./K.C.L./Y.F.A. FECHA: MARZO 2007

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D - 2216

| MUESTRAS | | | | | |
|-----------------|--------------------------------|---------------------|--|----------------|--|
| | | Reja Izquierda | | Reja Derecha | |
| CALICATA | | C - 1 | | C - 1 | |
| MUESTRA N° | | Limo arcilloso | | Arcilla Limosa | |
| PROFUNDIDAD (m) | | | | | |
| | FRASCO No | 364 | | 346 | |
| 1. | Peso recipiente + suelo húmedo | grs 114.83 | | 104.33 | |
| 2. | Peso recipiente + suelo seco | grs 113.11 | | 99.27 | |
| 3. | Peso de agua | (1) - (2) grs 1.72 | | 5.06 | |
| 4. | Peso de recipiente | grs 11.98 | | 11.75 | |
| 5. | Peso de suelo seco | (2) -(4) grs 101.13 | | 87.52 | |
| 6. | Contenido de humedad | (3)/(5)*100 % 1.70 | | 5.78 | |

| 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 % | | | |



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



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

Proyecto : PAVIMENTACION

Solicitado: GRUPO N° 6

Ubicacion: LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA - UNI

Fecha : MARZO 2007

| UBICACIÓN | | Reja Izquierda | Reja derecha | | | | |
|----------------|--|----------------|----------------|--|--|--|--|
| MUESTRA | | Limo Arcilloso | Arcilla Limosa | | | | |
| CALICATA | | C-1 | C-2 | | | | |
| NRO DEL FRASCO | | 3 | 4 | | | | |
| 1 | Peso del frasco + peso suelo seco (gr) | 209.5 | 202.2 | | | | |
| 2 | Peso del frasco volumétrico | 109.6 | 102.3 | | | | |
| 3 | Peso del suelo seco (1 - 2) (gr) | 99.9 | 99.9 | | | | |
| 4 | Peso del frasco + peso suelo + peso agua (gr) | 422.6 | 415.2 | | | | |
| 5 | Peso del frasco + peso del agua enrasada (gr) | 359.6 | 352.3 | | | | |
| 6 | Volumen del suelo (3 + 5 - 4) (cm ³) | 36.9 | 37.0 | | | | |
| 7 | Gs (3)/(6) gr/cc | 2.7 | 2.7 | | | | |

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 : Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb
SOLICITADO : Grupo 6 - 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: 25 de Abril del 2007

DENSIDAD DE CAMPO
ANILLO

MUESTRAS

| CALICATA | | Subrasante | Subrasante | Subrasante | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|------------|------------|------------|--|--|--|--|--|
| MUESTRA N° | | M - 1 | M - 2 | M - 3 | | | | | |
| PROFUNDIDAD (m) | | | | | | | | | |
| FRASCO No | | 307 | 339 | 343 | | | | | |
| 1. Peso recipiente + suelo húmedo | grs | 146.09 | 125.74 | 128.88 | | | | | |
| 2. Peso recipiente + suelo seco | grs | 122.85 | 104.17 | 109.82 | | | | | |
| 3. Peso de agua | (1) - (2) grs | 23.24 | 21.57 | 19.06 | | | | | |
| 4. Peso de recipiente | grs | 12.93 | 12.93 | 12.93 | | | | | |
| 5. Peso de suelo seco | (2) -(4) grs | 109.92 | 91.24 | 96.89 | | | | | |
| 6. Contenido de humedad | (3)/(5)*100 % | 21.14 | 23.64 | 19.67 | | | | | |
| 7. Volumen del anillo | cc | 56.55 | 56.55 | 56.55 | | | | | |
| 8. Densidad seca | (5)/(7) | 1.94 | 1.61 | 1.71 | | | | | |
| 9. Peso suelo húmedo | (1)-(4) | 133.16 | 112.81 | 115.95 | | | | | |
| 10. Densidad húmeda | (9)/(7) | 2.35 | 1.99 | 2.05 | | | | | |

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

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE INCONFINADA

| | |
|--------------------------|--|
| SOLICITADO : Grupo 1 | UBICACIÓN : Universidad Nacional de Ingeniería |
| PROYECTO : Pavimentación | |

| | | | |
|----------|---------|--------|--------------------|
| SONDARIF | Grupo 6 | PROF | FECHA : Abril 2007 |
| MUESTRA | A | ESTADO | ENSAYO N° 1 |

| | |
|--------------------------------|-------|
| Cie de anillo de carga = | 6.010 |
| Cie de anillo de deformación = | 1.000 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA | | | |
|-------------------------|----|--------|----|
| L.L. = | NI | I.P. = | NI |
| L.P. = | NT | C.H. = | |

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

| DENSIDADES (kg/cm³) | |
|---------------------|--------------------------|
| $\gamma_n =$ | $\gamma_{m\acute{a}x} =$ |
| $\gamma_s =$ | $\gamma_{m\acute{i}n} =$ |

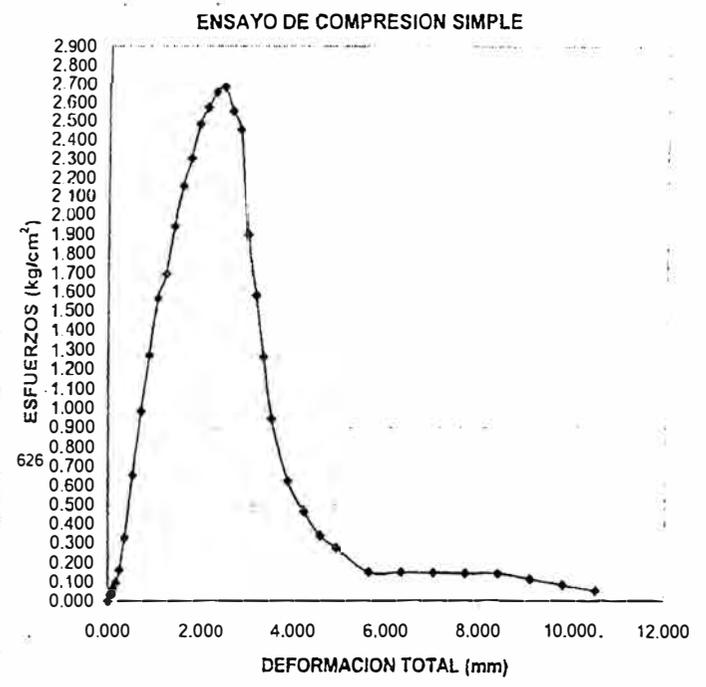
| DATOS DEL ESPECIMEN AL INICIO DE LA PRUEBA | | | |
|--|--------|-------------|-------|
| Dimensiones (cm) | | Areas (cm²) | |
| hs = | | As = | |
| hc = | | Ac = | |
| hi = | | Ai = | |
| hm (mm) = | 70 | Am (cm²) = | 9.62 |
| Wi (g) | 119.88 | Vi (cm³) | 67.34 |
| γ_m (g/cm³) = | 1.780 | | |

| DATOS DEL ESPECIMEN AL FINAL DE LA PRUEBA | | | |
|---|--------|-------------|-------|
| Dimensiones (cm) | | Areas (cm²) | |
| hs = | | As = | |
| hc = | | Ac = | |
| hi = | | Ai = | |
| hm (mm) = | 60 | Am (cm²) = | 1.77 |
| Wi (g) | 132.50 | Vi (cm³) | 10.60 |
| γ_m (g/cm³) = | 12.497 | | |

| Lectura en el dial de deformación | Lectura en el dial de deformación | deformación total | deformación unitaria | 1 - A | Área corregida | Lectura en el dial de carga | Fuerza axial aplicada | Esfuerzo |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------------|--------|----------------|-----------------------------|-----------------------|----------|
| | | | | | | | | |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 1.0000 | 5.69 | 0.0 | 0.00 | 0.000 |
| 3.500 | 0.001 | 0.035 | 0.0005 | 0.9995 | 5.70 | 1.0 | 0.19 | 0.033 |
| 7.000 | 0.003 | 0.070 | 0.0010 | 0.9990 | 5.70 | 3.2 | 0.19 | 0.033 |
| 10.500 | 0.004 | 0.105 | 0.0015 | 0.9985 | 5.70 | 7.2 | 0.38 | 0.066 |
| 17.500 | 0.007 | 0.175 | 0.0025 | 0.9975 | 5.71 | 23.5 | 0.57 | 0.099 |
| 24.500 | 0.010 | 0.245 | 0.0035 | 0.9965 | 5.71 | 43.0 | 0.94 | 0.165 |
| 35.000 | 0.014 | 0.350 | 0.0050 | 0.9950 | 5.72 | 48.0 | 1.89 | 0.330 |
| 52.500 | 0.021 | 0.525 | 0.0075 | 0.9925 | 5.74 | 7.0 | 3.77 | 0.658 |
| 70.000 | 0.028 | 0.700 | 0.0100 | 0.9900 | 5.75 | 11.6 | 5.66 | 0.984 |
| 87.500 | 0.034 | 0.875 | 0.0125 | 0.9875 | 5.77 | 16.5 | 7.56 | 1.276 |
| 105.000 | 0.041 | 1.050 | 0.0150 | 0.9850 | 5.78 | 21.8 | 9.06 | 1.567 |
| 122.500 | 0.048 | 1.225 | 0.0175 | 0.9825 | 5.79 | 28.8 | 9.81 | 1.693 |
| 140.000 | 0.055 | 1.400 | 0.0200 | 0.9800 | 5.81 | 35.0 | 11.27 | 1.940 |
| 157.500 | 0.062 | 1.575 | 0.0225 | 0.9775 | 5.82 | 40.4 | 12.55 | 2.154 |
| 175.000 | 0.069 | 1.750 | 0.0250 | 0.9750 | 5.84 | 46.0 | 13.45 | 2.304 |
| 192.500 | 0.076 | 1.925 | 0.0275 | 0.9725 | 5.85 | 50.8 | 14.55 | 2.484 |
| 210.000 | 0.083 | 2.100 | 0.0300 | 0.9700 | 5.87 | 54.8 | 15.09 | 2.571 |
| 227.500 | 0.090 | 2.275 | 0.0325 | 0.9675 | 5.88 | 56.2 | 15.64 | 2.657 |
| 245.000 | 0.096 | 2.450 | 0.0350 | 0.9650 | 5.90 | 56.4 | 15.82 | 2.681 |
| 262.500 | 0.103 | 2.625 | 0.0375 | 0.9625 | 5.92 | 54.2 | 15.09 | 2.551 |
| 280.000 | 0.110 | 2.800 | 0.0400 | 0.9600 | 5.93 | 52.0 | 14.55 | 2.453 |
| 297.500 | 0.117 | 2.975 | 0.0425 | 0.9575 | 5.95 | 43.0 | 11.27 | 1.896 |
| 315.000 | 0.124 | 3.150 | 0.0450 | 0.9550 | 5.96 | 38.0 | 9.43 | 1.582 |
| 332.500 | 0.131 | 3.325 | 0.0475 | 0.9525 | 5.98 | 35.0 | 7.55 | 1.263 |
| 350.000 | 0.138 | 3.500 | 0.0500 | 0.9500 | 5.99 | 33.8 | 5.66 | 0.944 |
| 385.000 | 0.152 | 3.850 | 0.0550 | 0.9450 | 6.02 | 29.0 | 3.77 | 0 |
| 420.000 | 0.165 | 4.200 | 0.0600 | 0.9400 | 6.06 | 25.8 | 2.83 | 0.467 |
| 455.000 | 0.179 | 4.550 | 0.0650 | 0.9350 | 6.09 | 23.0 | 2.08 | 0.341 |
| 490.000 | 0.193 | 4.900 | 0.0700 | 0.9300 | 6.12 | 21.0 | 1.70 | 0.277 |
| 560.000 | 0.220 | 5.600 | 0.0800 | 0.9200 | 6.19 | 20.0 | 0.94 | 0.152 |
| 630.000 | 0.248 | 6.300 | 0.0900 | 0.9100 | 6.25 | 17.0 | 0.94 | 0.151 |
| 700.000 | 0.276 | 7.000 | 0.1000 | 0.9000 | 6.33 | 12.0 | 0.94 | 0.149 |
| 770.000 | 0.303 | 7.700 | 0.1100 | 0.8900 | 6.40 | 6.0 | 0.94 | 0.147 |
| 840.000 | 0.331 | 8.400 | 0.1200 | 0.8800 | 6.47 | 3.0 | 0.94 | 0.146 |
| 910.000 | 0.358 | 9.100 | 0.1300 | 0.8700 | 6.54 | 2.0 | 0.75 | 0.115 |
| 980.000 | 0.386 | 9.800 | 0.1400 | 0.8600 | 6.62 | 1.0 | 0.57 | 0.085 |
| 1050.000 | 0.413 | 10.500 | 0.1500 | 0.8500 | 6.70 | 1.0 | 0.38 | 0.056 |

| Contenido de humedad de la muestra | |
|------------------------------------|--------|
| Tara N° | 32 |
| Peso de tara + sh | 144.76 |
| Peso de tara + ss | 126.4 |
| Peso de agua | 18.36 |
| Peso de tara | 12.26 |
| Peso de suelo seco | 114.14 |
| Cont. de Humedad | 16.09 |

| | |
|--------------------|--------|
| Esfuerzo último qu | 2.69 |
| Es del suelo | 131.90 |
| c (fricción) | 1.345 |





LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA
AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA



LABORATORIO GEOTECNICO

PROYECTO : GRUPO PAVIMENTACION
SOLICITADO :
UBICACIÓN :
HECHO POR :

FECHA: MARZO 2007

DENSIDAD DE CAMPO
ANILLO

| MUESTRAS | | Grupo 3 | Grupo 4 | Grupo 6 | | | | |
|-----------------------------------|---------------|---------|---------|---------|--|--|--|--|
| CALICATA | | M-1 | M-1 | M-1 | | | | |
| MUESTRA N° | | | | | | | | |
| PROFUNDIDAD (m) | | | | | | | | |
| FRASCO No | | 14 | 161 | 348 | | | | |
| 1. Peso recipiente + suelo húmedo | grs | 143.40 | 129.38 | 108.89 | | | | |
| 2. Peso recipiente + suelo seco | grs | 123.10 | 106.40 | 83.70 | | | | |
| 3. Peso de agua | (1) - (2) grs | 20.30 | 22.98 | 25.19 | | | | |
| 4. Peso de recipiente | grs | 15.72 | 10.94 | 12.93 | | | | |
| 5. Peso de suelo seco | (2) - (4) grs | 107.38 | 95.46 | 70.77 | | | | |
| 6. Contenido de humedad | (3)/(5)*100 % | 18.90 | 24.07 | 35.59 | | | | |
| 7. Volumen del anillo | cc | 56.55 | 56.55 | 56.55 | | | | |
| 8. Densidad seca | (5)/(7) | 1.90 | 1.69 | 1.25 | | | | |
| 9. Peso suelo húmedo | (1)-(4) | 127.68 | 118.44 | 95.96 | | | | |
| 10. Densidad húmeda | (9)/(7) | 2.26 | 2.09 | 1.70 | | | | |

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

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD

Número de Capas : 5

Método de Compactación: "A" ASTM D - 1557 - 78

COMPACTACION - C.B.R.

Número de Capas : 5

ASTM D - 1883 - 87

| RELACION HUMEDAD - DENSIDAD | | | | | COMPACTACION - C.B.R. | | | | | |
|--|--------|--------|--------|----------------------|-----------------------|---------|---------|--------|-------|-------|
| Número de Capas : 5 | | | | | Número de Capas : 5 | | | | | |
| Método de Compactación: "A" ASTM D - 1557 - 78 | | | | | ASTM D - 1883 - 87 | | | | | |
| VOL. MOLDE (cc) | | | | | 1898.68 | 1898.68 | 1898.68 | | | |
| N° Golpes | | | | | 9 | 12 | 17 | | | |
| N° Molde | | | | | 2 | 1 | 3 | | | |
| P. Suelo Hum + Molde (gr) | | | | | 7032 | 7024 | 7362 | | | |
| P. Molde (gr) | | | | | 3542 | 3414 | 3640 | | | |
| P. Suelo Humedo (gr.) | | | | | 3490 | 3610 | 3722 | | | |
| N° de recipiente | 31 | 15 | 377 | | 311 | 349 | 328 | 355 | 313 | 336 |
| P. Suelo Humo recipiente (gr.) | 112.25 | 123.81 | 111.03 | | 105.96 | 92.49 | 112.00 | 105.04 | 92.10 | 87.20 |
| P. Suelo seco recipiente (gr.) | 97.74 | 108.21 | 99.00 | | 99.69 | 97.14 | 105.57 | 99.25 | 86.75 | 82.40 |
| Peso de agua (gr.) | 14.51 | 15.62 | 14.03 | | 6.27 | 5.35 | 6.43 | 5.79 | 5.35 | 4.80 |
| Peso de recipiente (gr.) | 11.91 | 11.91 | 11.91 | | 11.91 | 10.34 | 11.23 | 11.49 | 10.83 | 10.22 |
| P. suelo seco (gr.) | 85.83 | 96.30 | 87.09 | | 87.78 | 76.80 | 94.34 | 87.76 | 75.92 | 72.18 |
| Humedad (%) | 16.91 | 16.22 | 16.11 | | 7.14 | 6.97 | 6.82 | 6.60 | 7.05 | 6.65 |
| | | | | Promedio de Humedad | 7.05 | 6.71 | 6.71 | | 6.85 | |
| GRAVEDAD ESPECIFICA | 2.660 | 2.660 | 2.660 | Dens. Humeda (gr/cc) | 1.838 | 1.901 | 1.901 | | 1.967 | |
| RELACION DE VACIOS | 0.549 | 0.493 | 0.445 | Dens. seca (gr/cc) | 1.717 | 1.782 | 1.782 | | 1.841 | |

| CAP. DEL ANILLO: | | | | FAC. DEL ANILLO: 7.77 | | | |
|------------------|------------|---------|------------|-----------------------|------------|---------|----|
| N° Golpes | 9 | | | 12 | | | 17 |
| N° MOLDE | 2 | | | 1 | | | 3 |
| PENET | LECT. DIAL | CARGA 1 | LECT. DIAL | CARGA 2 | LECT. DIAL | CARGA 3 | |
| 0.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.025 | 1 | 3 | 3 | 8 | 4 | 10 | 10 |
| 0.050 | 1.2 | 3 | 4 | 10 | 7 | 18 | 18 |
| 0.075 | 1.5 | 4 | 4.5 | 12 | 8 | 21 | 21 |
| 0.100 | 2 | 5 | 5.2 | 13 | 10 | 26 | 26 |
| 0.150 | 2.5 | 6 | 6.1 | 16 | 14 | 36 | 36 |
| 0.200 | 2.5 | 8 | 6.9 | 18 | 17 | 44 | 44 |
| 0.250 | 2.9 | 8 | 7.8 | 20 | 20 | 52 | 52 |
| 0.298 | 3 | 8 | 8.1 | 21 | 22 | 57 | 57 |
| 0.400 | 3.5 | 9 | 9 | 23 | 27 | 70 | 70 |
| 0.500 | 3.9 | 10 | 10.1 | 26 | 30.1 | 78 | 78 |
| 0.600 | 4.5 | 12 | 10.9 | 28 | 33 | 85 | 85 |

| | | | | | | |
|------|---|------|----|------|----|------|
| 0.1" | 5 | 0.50 | 13 | 1.30 | 26 | 2.60 |
| 0.2" | 7 | 0.47 | 19 | 1.27 | 44 | 2.93 |

Proyecto: Megranjeo Estructural de Vías Armadas con el Sistema Gravel
 Solicitado: Grupo 6 - Curso de Tuberías 2006 - FIC
 Ubicación: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 Muestra: Subcarriado
 Ing. Resp: Ing. José Alberto Martínez Del Rosca
 Técnico: Y.F. ARZUAGA
 Registro:
 Fecha: 25 de Abril 2007

RESULTADOS

| | |
|---------------------------|-------|
| MAX DENS SECA (gr/cc) | 2.263 |
| OPT CONT DE HUM (%) | 9.40 |
| CHR al 100% de la MDS (%) | |
| CHR al 95% de la MDS (%) | |
| RET TAMI 3" o 2" (%) | 8.2 |
| PASA TAMI 2" 200 (%) | 52.78 |
| CLASIFICACION AASTMHO | CL |
| PESEO ESPECIFICO (gr/cc) | 2.66 |

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 | Gruasa | 0.00 |
| | | Fina | 4.43 |
| Arenas | 42.79 | Gruasa | 1.80 |
| | | Media | 10.44 |
| | | Fina | 30.56 |
| Finos | | | 52.78 |

| FECHA | HORA | L.D. | L.D. | L.D. |
|-----------|------|------|------|------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| % DE EXP. | | | | |