

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VÍAS AFIRMADAS CON
EL SISTEMA GEOWEB
EVALUACIÓN GEOTÉCNICA**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

MARCELO PIZARRO RODRÍGUEZ

Lima- Perú

2007

Agradezco la orientación constante de los ingenieros José A. Martínez del Rosario y Roger Hidalgo García; y el apoyo incondicional de mi amor Verónica y de mis hermanos Miller, Roberto, Soledad, Pedro, José y Carlos.



ÍNDICE

| | |
|--|----|
| Resumen | 4 |
| Lista de Cuadros | 6 |
| Lista de Figuras | 7 |
| Introducción | 9 |
| Capítulo 1: Generalidades | |
| 1.1 Antecedentes | 11 |
| 1.2 Objetivos | 12 |
| 1.3 Descripción del Área de Trabajo | 12 |
| Capítulo 11: Estudio de Suelos | |
| 2.1 Alcances del Estudio | 13 |
| 2.2 Características Estructurales de un Pavimento | 13 |
| 2.2.1 Estructura del Pavimento | 14 |
| 2.2.2 Comportamiento Elástico | 15 |
| 2.2.3 Comportamiento Elasto-Plástico | 17 |
| 2.2.4 Esfuerzos y Deformaciones en la Estructura del Pavimento | 18 |
| 2.2.5 Características y Ventajas del Sistema Geoweb de Soporte de Carga | 28 |
| 2.3 Condicionantes del Suelo | 37 |
| 2.3.1 Perfil del Suelo del Sitio Propuesto para el Proyecto | 43 |
| 2.3.2 Nivel Freático | 48 |
| 2.4 Implementación del Suelo de Baja Capacidad Portante y Obtención de los Parámetros de Diseño | 49 |
| 2.4.1 Trabajos de Campo | 49 |
| 2.4.2 Ensayos de Laboratorio | 50 |
| 2.4.3 Resultados | 52 |



| | |
|---|-----|
| Capítulo 11: Parámetros de Diseño de un Pavimento | |
| 3.1 Criterios y Métodos de Diseño | 56 |
| 3.2 Evaluación de la Subrasante | 59 |
| Capítulo IV: Análisis de la Cimentación de la Estructura de un Pavimento | |
| 4.1 Subrasante | 62 |
| 4.2 Soluciones a los Problemas de la Cimentación | 63 |
| Conclusiones | 64 |
| Recomendaciones | 66 |
| Bibliografía | 67 |
| Anexos | |
| Registro de Sondajes | 70 |
| Ensayos de Laboratorio-Primera Etapa | 71 |
| Ensayos de Laboratorio-Segunda Etapa | 88 |
| Proyección de la gráficas Densidad Seca vs. Humedad y Densidad Seca vs. | |
| CBR | 107 |
| Panel Fotográfico | 108 |
| Planos | 123 |



RESUMEN

El proyecto experimental consistió en construir un tramo de vía afirmada con aplicación del sistema geoweb de soporte de carga con la finalidad de comprobar ventajas técnicas y económicas que podría aportar dicho sistema a través del mejoramiento estructural de un suelo de baja capacidad de soporte. Debido a que la cimentación del sitio propuesto para el proyecto, ubicado en el área experimental del Laboratorio Nacional de Hidráulica de la Universidad Nacional de Ingeniería, presentaba buenas condiciones de soporte de carga para fines de la investigación, se alteraron dichas condiciones "degradando" el suelo, de tal forma que permita evaluar las bondades del material de refuerzo. Esto implicó realizar la excavación en el largo y ancho del tramo asignado para el proyecto y a una profundidad, aproximada, de 1.1 Om. Luego se realizaron las correspondientes exploraciones y/o trabajos de campo, ensayos de laboratorio y el análisis de los resultados obtenidos.

Entonces la evaluación geotécnica, que es el tema del presente informe, consta de dos etapas: *La Primera Etapa* que consistió en determinar las características físicas de los suelos encontrados con el objetivo de establecer el perfil estratigráfico del suelo. Se determinaron tres estratos: el superior constituido por arenas con finos (SC), el intermedio con suelos finos (CL) y el inferior con arenas y gravas limpias (SW y GP). El Cuadro 2.3 muestra un resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados. *La Segunda Etapa* consistió en seleccionar los materiales obtenidos de la excavación para ser utilizados ya sea como material para la subrasante, sub base y/o relleno en las celdas de geoweb. Las arenas arcillosas y las arcillas arenosas de los estratos superior e intermedio respectivamente fueron utilizadas para la generación de la subrasante de baja capacidad portante. El resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a estos suelos se muestra en el Cuadro 2.4. También se determinaron, en esta etapa, las condiciones de humedad y densidad en las que se debía generar la subrasante a través de una poza experimental de



1.00x1.00x1.00 m cerca al área de trabajo. Para ello se partió con asumir un valor de densidad seca de 1.80 gr/cc y determinar, con este valor, el contenido de humedad y el CBR correspondiente de la gráfica proyectada (ver Anexos) obtenida de las gráficas de relación densidad seca vs. humedad y densidad seca vs. CBR. Estos resultados se pueden apreciar en el Cuadro 2.5. Se realizaron los cálculos necesarios para determinar el volumen de agua que se debía agregar para llevar a condiciones saturadas el suelo que fue colocado en la poza experimental bajo controles de densidad. Pasada las 24 horas, se realizaron pruebas de verificación in situ a través de ensayos de penetración y se extrajeron muestras inalteradas del suelo generado en la poza experimental para realizar los ensayos correspondientes que determinaron los parámetros geotécnicos que se utilizaron en el pre-diseño del pavimento granular con el sistema geoweb de soporte de carga. Los valores de los parámetros se aprecian en el Cuadro 2.6. La parte final, de esta segunda etapa, consistió en implementar la subrasante de baja capacidad portante en el sitio propuesto para el proyecto que constituye el objetivo final del presente informe. Para ello se establecieron las mismas condiciones de humedad y densidad; y se aplicaron los mismos procedimientos utilizados en la poza experimental. Finalmente, se realizaron ensayos de laboratorio con los suelos utilizados para verificar las propiedades físicas y se hicieron ensayos de verificación de las propiedades mecánicas en el suelo generado a través de sondajes de penetración dinámica ligera (DPL), que arrojaron resultados similares a los obtenidos en la poza experimental. Resultados de esta etapa final se pueden apreciar en el Cuadro 2.7.



LISTA DE CUADROS

| | | |
|------------|--|----|
| Cuadro 2.1 | Relación máxima de ángulo de fricción | 35 |
| Cuadro 2.2 | Calicatas | 46 |
| Cuadro 2.3 | Resultados de ensayos de laboratorio (1° etapa) | 47 |
| Cuadro 2.4 | Resultados de ensayos de laboratorio (2° etapa) | 52 |
| Cuadro 2.5 | Valores proyectados de humedad y CBR | 53 |
| Cuadro 2.6 | Parámetros geotécnicos para el diseño | 54 |
| Cuadro 2.7 | Resultados de ensayos de laboratorio (2° etapa) | 54 |
| Cuadro 3.1 | Correlación de los parámetros de resistencia del suelo de subrasante para suelos cohesivos (de granos finos) | 59 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 2.1 | Estructura típica de pavimentos | 14 |
| Figura 2.2 | Comportamiento elástico | 16 |
| Figura 2.3 | Comportamiento elasto plástico, un ciclo carga-descarga | 17 |
| Figura 2.4 | Comportamiento elasto-plástico, varios ciclos de carga-descarga | 18 |
| Figura 2.5 | Distribución de esfuerzos en pavimentos típicos | 19 |
| Figura 2.6 | Distribución de esfuerzos en pavimentos con base y/o sub base estabilizada | 20 |
| Figura 2.7 | Ensayos para la obtención del módulo elástico | 21 |
| Figura 2.8 | Ensayos para modelar el efecto de las cargas en el pavimento | 22 |
| Figura 2.9 | Componente de esfuerzos, carga circular y coordenadas cilíndricas | 24 |
| Figura 2.10 | Solución de Boussinesq para el cálculo de esfuerzos verticales a_z | 24 |
| Figura 2.11 | Distribución de deformaciones | 27 |
| Figura 2.12 | Distribución de esfuerzos | 27 |
| Figura 2.13 | Mecanismo de falla bajo carga | 29 |
| Figura 2.14 | Mecanismo de prevención de fallas | 30 |
| Figura 2.15 | Resultados de ensayos de compresión triaxial a escala | 30 |
| Figura 2.16 | Construcción del Círculo de Mohr para la composición Suelo-Geoweb | 30 |
| Figura 2.17 | Componentes de la Solución Sistema Geoweb de Soporte de Carga | 31 |
| Figura 2.18 | Típica sección de geoweb | 32 |
| Figura 2.19 | Superficie de pared texturizada | 32 |
| Figura 2.20 | Pared de celda perforada | 33 |
| Figura 2.21 | Resistencia al corte en paredes de celda | 33 |
| Figura 2.22 | Interacción friccional pared-relleno | 34 |



| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 2.23 | Sistema de distribución de carga | 34 |
| Figura 2.24 | Distribución de cargas concentradas a celdas vecinas | 36 |
| Figura 2.25 | Cuadro de diseño de espesores de base en función de su CBR | 36 |
| Figura 3.1 | Sistema de pavimento asfáltico | 57 |
| Figura 3.2 | Sistema de pavimento granular | 58 |



INTRODUCCIÓN

La evaluación geotécnica constituye, en estos tiempos, uno de los factores importantes en la determinación del comportamiento ingenieril de las estructuras de los suelos que servirán de soporte a diversas obras civiles. Es importante para cualquier obra de ingeniería investigar las condiciones del subsuelo del sitio propuesto para determinar si es adecuado y establecer su capacidad de soporte a la estructura propuesta de tal forma de evitar esfuerzos y deformaciones indebidos. Lo que al final se busca, a través de la evaluación, es obtener un acondicionamiento apropiado para la obra de ingeniería determinada y tener los elementos para la elaboración de un diseño técnicamente adecuado y viablemente económico.

Para nuestro proyecto, el sitio propuesto se ubica en el área de modelos del Laboratorio Nacional de Hidráulica en la Universidad Nacional de Ingeniería. La finalidad principal del proyecto experimental es comprobar el mejoramiento estructural de una subrasante suave e inestable haciendo uso del sistema geoweb de soporte de carga. Por tal motivo, en el Capítulo I tomará en cuenta aspectos generales comenzando con establecer los antecedentes previos a la elección del sitio propuesto para el proyecto, pasando luego a determinar los objetivos generales del informe de suficiencia y terminaremos describiendo la zona geográfica que se constituirá en el área de trabajo.

En el Capítulo 11 se tratará, dentro del estudio de suelos, sobre la implementación del suelo con las condiciones críticas indicadas anteriormente haciendo uso de los suelos finos obtenidos de la excavación en el sitio propuesto, cuyas propiedades físicas han sido identificados a través de una exploración de campo y de ensayos de laboratorio previamente realizados. Pero antes de entrar a esta parte experimental se darán a conocer aspectos teóricos referentes a la estructura del pavimento, al comportamiento de esta estructura frente a cargas estáticas y cíclicas, a los niveles de esfuerzos y deformaciones a la que estas



estructuras están expuestas y las características y ventajas del Sistema Geoweb de Soporte de Carga aplicado a dichas estructuras.

Una vez implementado el suelo de subrasante de baja capacidad portante, se verificarán las condiciones generadas y se determinarán los parámetros finales para el diseño del pavimento granular; toda esta parte se tratará en el Capítulo 11 del presente informe.

Por último, en el Capítulo IV se realizará el análisis de la cimentación de la estructura del pavimento en función de los resultados obtenidos en los capítulos anteriores.

Cabe recalcar, que llevamos a las condiciones críticas el sitio propuesto como cimentación del pavimento granular a construir con el objetivo general de comprobar que el uso del sistema geoweb de soporte de carga puede resultar técnica y económicamente viable en comparación con métodos convencionales a condiciones extremas de baja capacidad de soporte.



CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

En un inicio, como parte de la etapa de entrega de los terrenos para la ejecución de las obras. A los tres (03) grupos de pavimentos se les asigna los terrenos ubicados en los pies de las laderas del Cerro UNI, entre el C.E.I. "Los Ingenieritos" y la losa deportiva de la Facultad de Minas. Sin embargo, debido a motivos ajenos no se pudo conceder estos terrenos a los grupos. Posteriormente, se ofreció unos terrenos ubicados en Mala pero, debido a la considerable distancia de Lima y a la escasez de equipos de alquiler en la zona, se descartó esta posibilidad. Finalmente, se establece como área de trabajo una zona ubicada en el área de modelos del Laboratorio Nacional de Hidráulica. Entonces, es en este lugar en donde se asigna un sector a cada uno de los tres grupos de trabajo para que realicen las correspondientes evaluaciones para la construcción de los respectivos pavimentos granulares. Esto es debido a que cada grupo utilizará un tipo diferente de geosintético, en nuestro caso utilizaremos el sistema geoweb de soporte de carga. Cuando los suelos son muy blandos y/o las cargas pesadas, este sistema puede reducir los costos al reducir el espesor necesario del pavimento. Cuando los agregados son caros o escasean, el sistema geoweb de soporte de carga puede reducir los costos incorporando materiales disponibles en la zona. Además, este sistema puede ofrecer varias ventajas sobre soluciones convencionales y sobre otros sistemas alternativos.

Lo dicho en los dos párrafos anteriores es a manera de comentario debido a que no será el tema principal del presente informe. Será tratado con mayor profundidad en otros informes que forman parte del proyecto experimental.

Justamente, el objetivo primordial del proyecto es evaluar en campo todas estas bondades que puede ofrecer este sistema geoweb de soporte de carga.



1.2 OBJETIVOS

- Conocer las características físico-mecánicas de los suelos en la ubicación geográfica que constituirá el terreno de cimentación para fines de pavimentación.
- Conocer las características y condiciones de los niveles de disminución de la capacidad portante de los suelos para fines de pavimentación.
- Conocer las características físico-mecánicas del suelo de fundación generado a fin de establecer los parámetros que servirán para el diseño del pavimento de una vía afirmada haciendo uso de un sistema no convencional de soporte de carga.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

El área de trabajo se ubica en los exteriores del Laboratorio Nacional de Hidráulica, dentro de la Universidad Nacional de Ingeniería. Es un acceso de terreno natural, cubierto con un delgado espesor de piedra chancada de $\frac{3}{4}$ ", que da a la puerta posterior del Laboratorio. Es un acceso paralelo al muro perimetral posterior. El tramo a utilizar, de dicho acceso, tiene una longitud de 65.00 m. y un ancho de 3.50 m. Dicho tramo ha sido dividido en cuatro sectores, asignándose un sector a cada uno de los tres grupos de trabajos que construirán los pavimentos granulares haciendo uso de geosintéticos y dejando un tramo para la construcción de un pavimento granular convencional.

La ubicación y dimensiones del sector asignado como área de trabajo se pueden apreciar en el plano PU-01 (ver Anexos).

El acceso a la zona de trabajo se puede realizar a través de tres ingresos: 1) un ingreso principal exterior por la Av. Túpac Amaru; 2) un ingreso lateral frontal, dentro de la Universidad, frente a la Facultad de Arquitectura y Urbanismo; y 3) un ingreso lateral posterior, dentro de la Universidad, frente a la Facultad de Arquitectura y Urbanismo.



CAPITULO 11

ESTUDIO DE SUELOS

2.1 ALCANCES DEL ESTUDIO

Los alcances del presente estudio son:

- Caracterización del terreno de cimentación desde el punto de vista geotécnico, determinación de las propiedades físicas y mecánicas que gobiernan la resistencia del área de estudio.
- Evaluación de los suelos encontrados, determinación de las proporciones a incluir en la generación de la nueva subrasante de baja capacidad portante.
- Determinación de las condiciones de densidad y humedad controladas para la generación de la nueva subrasante.
- Verificación de las condiciones generadas en la nueva subrasante implementada.
- Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la nueva subrasante implementada, obtención de los parámetros geotécnicos finales para el diseño del pavimento granular con el sistema geoweb de soporte de carga.

2.2 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE UN PAVIMENTO

En esta parte del presente capítulo se definirán conceptos referidos a las estructuras del pavimento, al comportamiento de esta estructura frente a cargas estáticas y cíclicas, a los niveles de esfuerzos y deformaciones a las que estas estructuras están expuestas y las características y ventajas del Sistema Geoweb de Soporte de Carga aplicado a dichas estructuras.



2.2.1 Estructura del Pavimento

La estructura del pavimento se encuentra conformada por capas de materiales de diferentes calidades y espesores que obedecen a un diseño estructural. La función de la estructura del pavimento es la de soportar las cargas provocadas por el tráfico.

Los pavimentos pueden estar conformados en su parte superficial por una *carpeta de rodadura* que puede ser *asfáltica* (pavimentos asfálticos) o granular (pavimentos granulares). Estas capas superficiales van apoyados generalmente sobre dos capas no rígidas, la *base* y *sub base*.

Una distribución típica de la estructura del pavimento se aprecia en la figura 2.1.

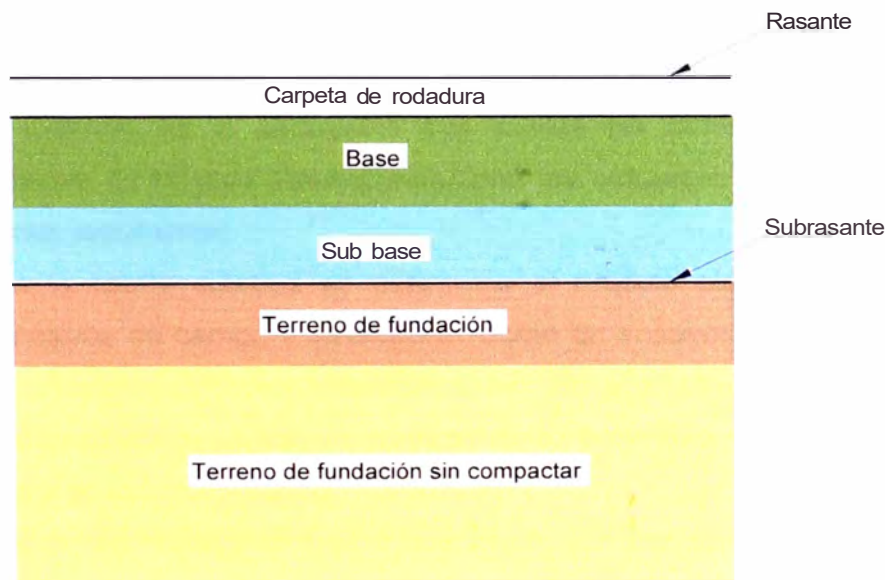


Fig. 2.1. Estructura típica de pavimentos

La capa de base, generalmente granular, es una capa que se apoya sobre una sub base. La función de esta capa es transmitir los esfuerzos provenientes del tráfico a la sub base y subrasante. Los requisitos de calidad de agregados de base son muy rigurosos. Esta capa esta conformada por grava chancada, compactada al 100 % de la máxima densidad seca del ensayo de proctor modificado.

La sub base, es una capa que según el diseño puede o no colocarse. Se apoya sobre la subrasante y los requisitos de calidad de los materiales que la conforman son menos rigurosos.



El terreno de fundación puede estar conformado por un terraplén (caso de rellenos) o terreno natural en el caso de cortes, para ambos casos, la cota geométrica superior se denomina *subrasante*.

Cabe mencionar, que el CBR de los suelos compactados (como es el caso de los terraplenes) y de suelos granulares densos (como el conglomerado de Lima) están asociados al 100 % de la máxima densidad seca del proctor modificado; sin embargo, el CBR de subrasantes arenosas y limo arcillosas no puede asociarse a este valor, porque su densidad de campo esta muy por debajo de la máxima densidad seca y su humedad natural es mayor que el óptimo contenido de humedad. En este último caso el CBR se obtiene de muestras inalteradas o ensayos de campo [5].

2.2.2 Comportamiento Elástico

El Módulo Elástico es el parámetro que evalúa las deformaciones ante cargas estáticas. El Módulo Elástico relaciona los esfuerzos aplicados y las deformaciones resultantes.

A través de la teoría elástica se determina el módulo elástico del suelo mediante ensayos de campo y laboratorio, como en ensayos de compresión edométrica, triaxial, CBR, placa de carga, etc. En el ensayo triaxial, a una muestra de suelo se le aplica un confinamiento promedio inicial (σ_c) para luego aplicarle el esfuerzo axial q .

La deformación es elástica debido a que la presión transmitida al suelo es permanente y baja. Gráficamente existe una relación lineal entre la presión transmitida y la deformación; la pendiente de la recta, mostrada en la figura 2.2, es el módulo elástico.

Se puede extender la teoría elástica a los ensayos de C.B.R. utilizando los resultados de la prueba de carga asociados a asentamientos característicos de 0.1 ". Para ello, se deberá utilizar la solución que ofrece la teoría elástica para el cálculo de asentamiento que ocurre cuando se tiene una superficie circular rígida cargada sobre un medio semi-infinito (Poulos y Davis, 1974) [5].

$$p = \frac{r}{2} \frac{1-v^2}{E} \frac{pr}{E} \dots\dots\dots (2.1)$$

donde:

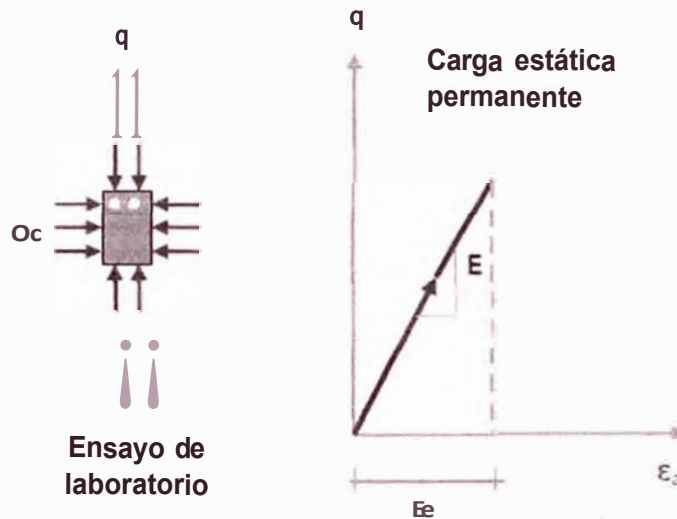
p : Asentamiento

ν : Relación de Poisson

p : Presión aplicada

r : Radio del área cargada

E : Módulo elástico



Donde:

σ_c Esfuerzo de confinamiento

q Presión axial

ϵ_e Deformación elástica

ϵ_a Deformación axial

Fig. 22 Comportamiento elástico

Considerando en la ecuación 2.1 un asentamiento característico de 0.1"; un valor de $Z=0.40$; radio equivalente a un área circular cargada de 3 pulg² y la presión aplicada en función del valor CBR, se obtienen las siguientes relaciones [4]:

$$E = 139.7 \text{ CBR}; \text{ E en libra/pulg}^2$$

$$E = 9.83 \text{ CBR}; \text{ E en kg/cm}^2$$

Entonces existe una relación entre E y el valor CBR asumiendo un comportamiento del medio como elástico, uniforme e isotrópico [4].

2.2.3 Comportamiento Elasto - Plástico

El suelo experimenta ciclos de carga y descarga. Por ejemplo, para el caso de un ciclo (1 carga y 1 descarga); es decir cuando un vehículo se aproxima al punto de análisis A, el terreno de fundación se empieza a deformar, esta deformación se hace máxima cuando el vehículo se encuentra exactamente sobre el punto A, en ese momento conocemos la deformación total. Sin embargo, cuando el vehículo se aleja el suelo trata de recuperar su posición inicial pero no lo consigue. La deformación no recuperable se denomina deformación plástica y la deformación recuperable es la deformación elástica. El suelo ha experimentado plastificación.

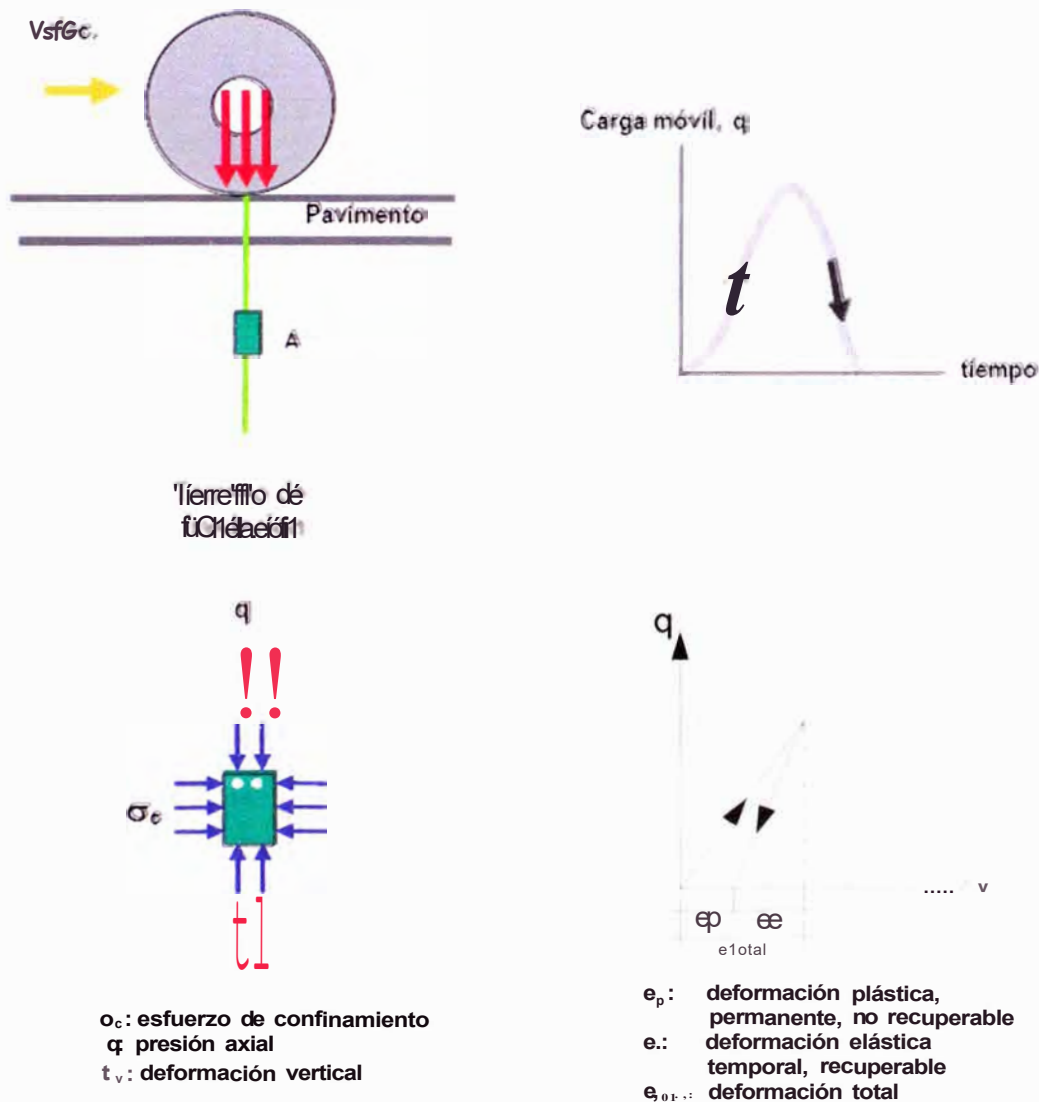
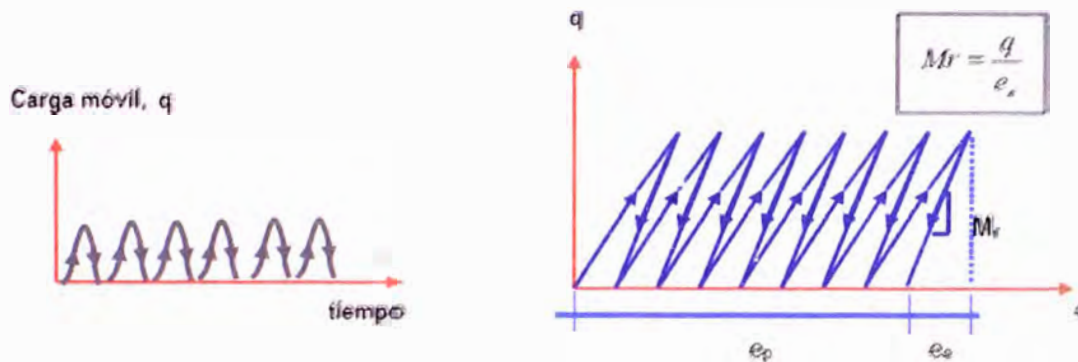


Fig. 2.3. Comportamiento elasto-plástico, un ciclo carga-descarga



Las deformaciones plásticas se van acumulando y las deformaciones elásticas se van haciendo constantes. Cuando el suelo no acumula más deformaciones plásticas ya se consolidó para ese nivel de cargas. La pendiente de la recta final de esta etapa se denomina módulo resiliente, M_r . El módulo resiliente representa el comportamiento elástico final del suelo. El método de diseño de pavimentos (AASHTO 2002) considera que ninguna de las capas que componen la estructura del pavimento debe tener deformaciones plásticas, sobre todo en la capa más débil. El terreno de fundación aporta en gran medida en las deformaciones de la estructura que no deben exceder de 1 mm [5].



M_R : Módulo Resiliente representa el comportamiento elástico final, residual
 e_p : Las deformaciones plásticas son acumulables e influyen en el comportamiento del pavimento
 e_e : Las deformaciones elásticas se van haciendo constantes

Fig. 2.4. Comportamiento elasto-plástico, varios ciclos de carga-descarga

2.2.4 Esfuerzos y Deformaciones en la Estructura del Pavimento

A. Esfuerzos Principales producidos en la Estructura del Pavimento

El objetivo de la estructura del pavimento es distribuir las cargas provenientes del tránsito, de manera que las presiones verticales a nivel de fundación sean menores a las admisibles por la estructura del pavimento.

Las cargas aplicadas sobre la estructura del pavimento no sólo generan esfuerzos verticales sino también esfuerzos horizontales en una estructura típica de pavimento (carpeta asfáltica, base y sub base granular) los esfuerzos horizontales se disipan a través de la carpeta asfáltica, pasando de



un valor positivo en la superficie a uno negativo en su parte inferior, los esfuerzos así generados producen fisuras que luego se reflejaran en la superficie. La figura 2.5. muestra la distribución de esfuerzos horizontales (σ_H) y verticales (σ_v) de pavimentos típicos.

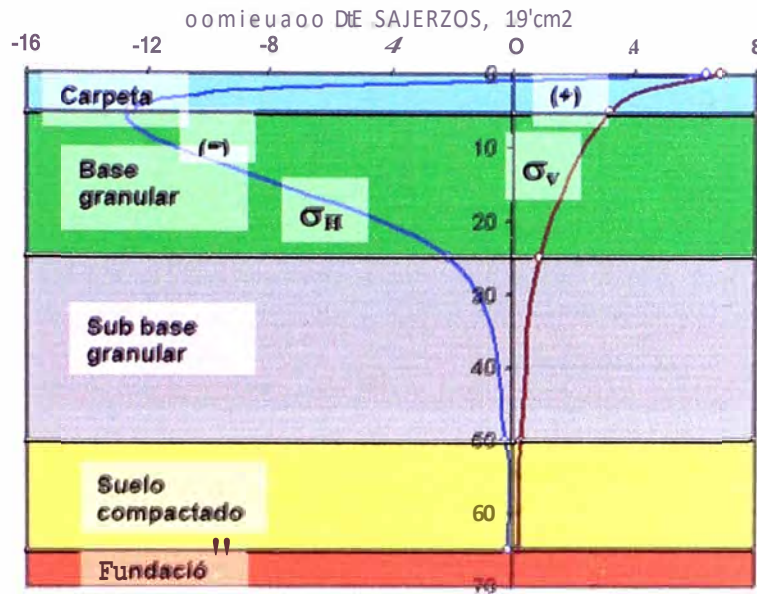


Fig. 2.5 Esquema de la Distribución de Esfuerzos en Pavimentos Típicos

Las deformaciones excesivas a nivel de la subrasante están asociadas a dos de las principales fallas que se producen en el pavimento a través del comportamiento del terreno de fundación y la deformación por tracción, asociado al agrietamiento.

En la figura 2.6 se muestra la distribución de esfuerzos en una estructura de pavimentos con base y/o sub base estabilizada. La carpeta asfáltica esta sometida solamente a esfuerzos de compresión, mientras los esfuerzos de tracción son absorbidos por la base estabilizada.

Entonces el ensayo de tracción indirecta y el respectivo parámetro como es el módulo de resiliencia no representa el comportamiento mecánico de la carpeta asfáltica, así, un ensayo de compresión confinada cíclica será representativo del comportamiento mecánico [5].

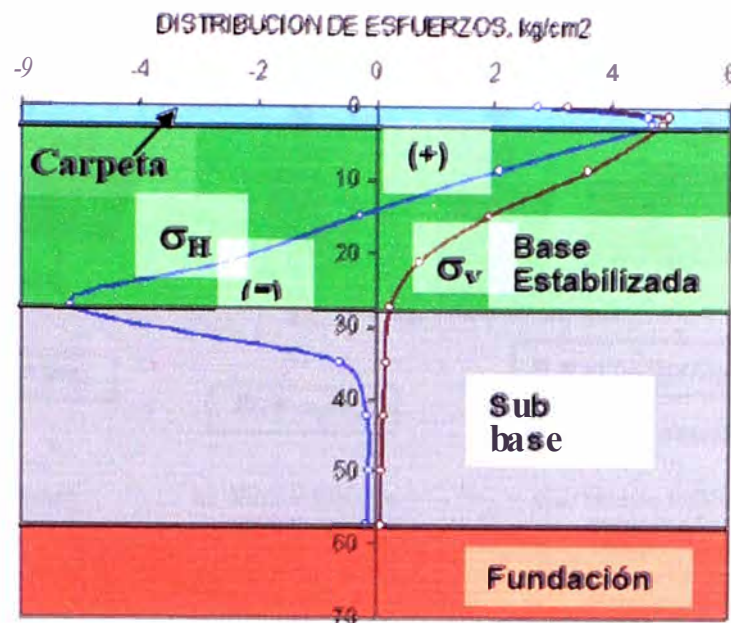


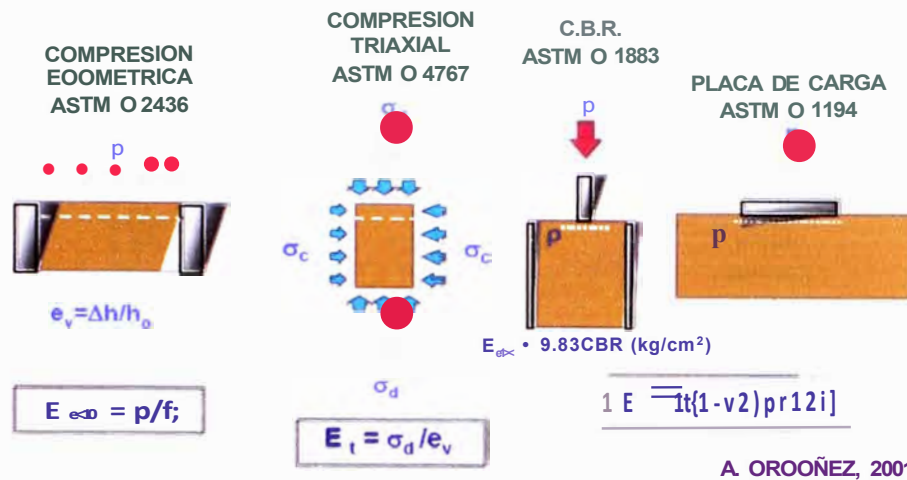
Fig. 2.6 Distribución de Esfuerzos en Pavimentos con Base y/o Sub Base Estabilizada

B. Módulo Elástico

Este parámetro se utiliza para la estimación de deformaciones bajo cargas estáticas. El módulo elástico relaciona los esfuerzos aplicados y las deformaciones resultantes.

La teoría de la elasticidad permite utilizar ensayos de laboratorio y campo para la determinación del módulo elástico. La figura 2.7 muestra algunos de dichos ensayos. El ensayo de compresión confinada utilizando el consolidómetro simula el comportamiento deformacional que tendrá el suelo debajo de una cimentación superficial. El equipo no permite la deformación horizontal de la muestra. El ensayo permite obtener el módulo elástico en la condición natural y humedecida.

El ensayo triaxial estudia el comportamiento deformacional del suelo bajo confinamiento y permite obtener módulos elásticos para cualquier presión de confinamiento y deformación. Los parámetros se utilizan cuando las presiones verticales transmitidas alcanzan profundidades importantes. El equipo no permite medir el efecto del humedecimiento.



E_{ed} : Módulo Elástico determinado por compresión edométrica
 p : Presión aplicada
 h_0 : Altura inicial
 Δh : Desplazamiento
 e_v : Deformación vertical

E_t : Módulo Elástico determinado por compresión triaxial
 σ_c : Esfuerzo de confinamiento
 σ_d : Esfuerzo de deformación
 e_v : Deformación vertical

E_{cb} : Módulo Elástico determinado por CBR
 E : Módulo Elástico
 r : Asentamiento
 ν : Relación de Poisson
 p : Presión aplicada
 r : Radio del área cargada

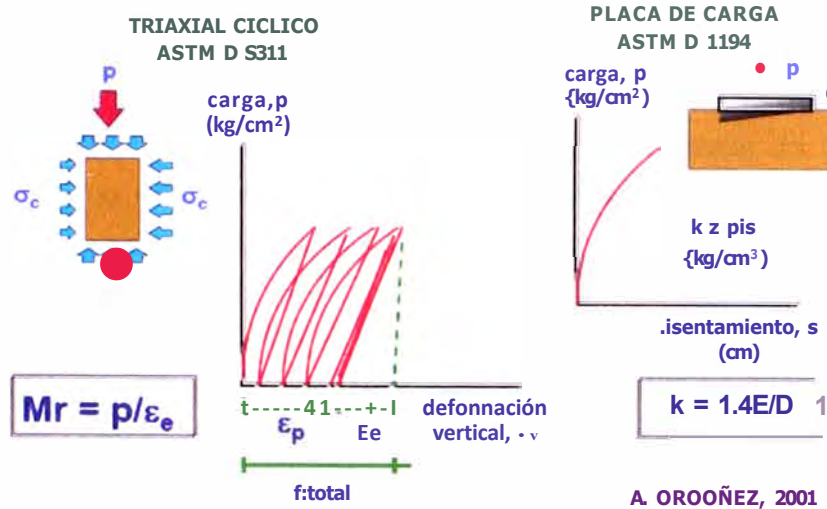
Fig. 2.7 Ensayos para la Obtención del Módulo Elástico

El ensayo C.B.R. y el ensayo de placa de carga permiten obtener los parámetros elásticos en la evaluación de la subrasante. Sin embargo, es poco usual, ensayar muestras inalteradas. La ventaja de esta práctica en el ensayo del C. B. R. es la evaluación de la influencia de la densidad natural y el humedecimiento.

En la figura 2.8, extraída del texto en referencia, se estudia el efecto de las cargas en el pavimento. Cada ciclo de carga produce en el suelo una componente de deformación plástica, no recuperable y una componente de deformación elástica, recuperable. Con los ciclos siguientes de cargas los incrementos de deformación plástica producidos tienden a desaparecer, en cambio las deformaciones elásticas tienden a ser constantes.

El módulo resiliente, M_r relaciona el esfuerzo aplicado y la deformación elástica en la condición estable o residual cuando el suelo presente un comportamiento elástico. El módulo resiliente no representa el comportamiento total, desde el inicio del ciclo de cargas hasta el final.

Sin embargo, el módulo resiliente relaciona las capas móviles o rápidas y las deformaciones instantáneas resultantes. El valor del M_r puede ser 10 veces el valor del Módulo Elástico [5].



M_r: Módulo resiliente
p: Presión aplicada
ε_e: Deformación elástica
ε_p: Deformación plástica
ε_{total}: Deformación total
k: Relación carga-asentamiento
E: Módulo elástico
D: Profundidad

Fig. 2.8 Ensayos para Modelar el efecto de las Cargas en el Pavimento

Los suelos granulares que conforman las capas del pavimento, presentan una adecuada gradación y compactación. El comportamiento de estas capas granulares, bajo los ciclos de carga, no presentará deformaciones plásticas significativas. Se asume que durante el adecuado proceso constructivo, las deformaciones plásticas se anularán. Es este caso es apropiado modelar el comportamiento de las capas con el Módulo Resiliente.

El caso crítico lo constituye cuando la subrasante contiene fracciones importantes de finos limo-arcillosos. Es sabido que los suelos limo-arcillosos sometidos a cargas estáticas permanentes presentan deformaciones diferidas (con el tiempo) asociado al fenómeno de consolidación. Bajo cargas no permanentes, de corta duración y repetidas, como son las cargas de tránsito, el tiempo que demorará en consolidarse será mayor, lo que se traduce en el mayor número de ciclos. Es decir, el adecuado proceso constructivo no será suficiente para anular las deformaciones plásticas. El estado final resiliente solo se consigue con un número grande de ciclos de carga y la deformación plástica acumulable será significativa. El módulo resiliente, M_r representa solamente el comportamiento deformacional final, no será representativo del comportamiento del suelo.

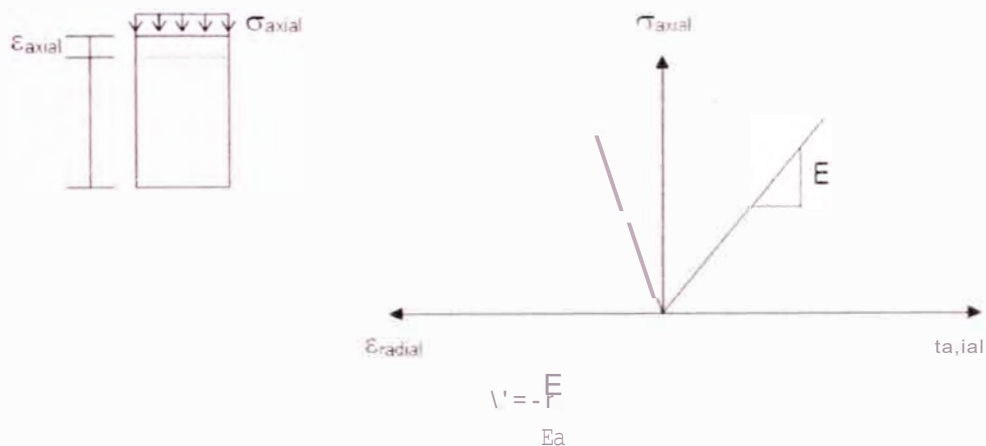


La subrasante con componentes importantes limo-arcillosas sujetas a deformaciones plásticas acumulables significativas (bajo valor de CBR), estarán sujetas a dos alternativas: estabilizar primero el subsuelo para luego diseñar el pavimento o alejar el subsuelo de la influencia de las cargas (considerando un espesor mayor de relleno granular) esto es, del bulbo de presiones generadas por las cargas de tránsito [5].

C. Teoría elástica de medios semi-infinitos

El cálculo de los esfuerzos transmitidos al terreno debido a la aplicación de las cargas de tránsito se basa en las siguientes consideraciones (5):

- Se asume que el terreno tiene un comportamiento elástico lineal, es decir, que las deformaciones que se generen serán proporcionales a las cargas aplicadas.



Donde:

- ν relación de Poisson
- ϵ_r deformación radial
- ϵ_a deformación axial

- La aplicación de una carga circular uniforme genera esfuerzos (normales y tangenciales) en el terreno.

Se utiliza un sistema de coordenadas cilíndricas donde σ_z , σ_r y σ_θ , son esfuerzos normales y τ_{rz} es el esfuerzo tangencial. Los cuatro componentes definen el estado de esfuerzos en el punto interior (r, z).

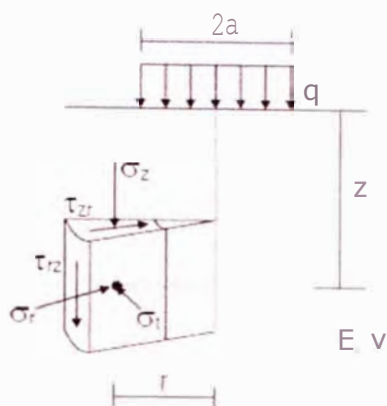


Fig. 2.9 Componente de esfuerzos, carga circular y coordenadas cilíndricas.

- c) La aplicación de la Teoría Elástica, basado en la integración numérica de la solución de Boussinesq (1885). Considerando un medio homogéneo, elástico, isotrópico y semi-infinito se tiene:

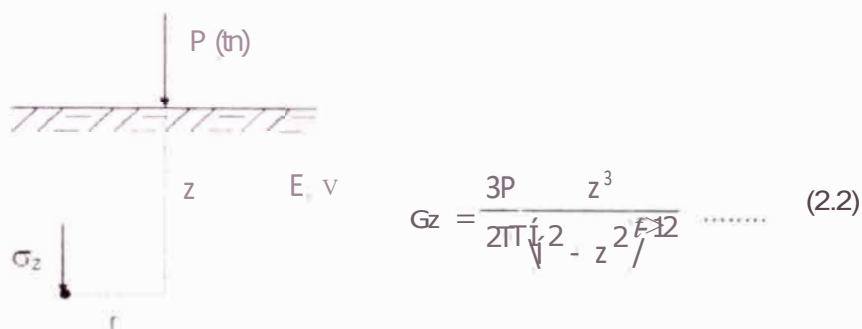


Fig. 2.10 Solución de Boussinesq para el cálculo de esfuerzos verticales σ_z .

D. Aplicación de la solución de Boussinesq y la Teoría Elástica

Considerando una carga uniformemente repartida de magnitud q y un plano horizontal cualquiera a una profundidad z_1 , se tendrán los máximos esfuerzos verticales transmitidos, $\sigma_{z_{máx}}$, cuando $r = 0$ (punto ubicado en el eje vertical).



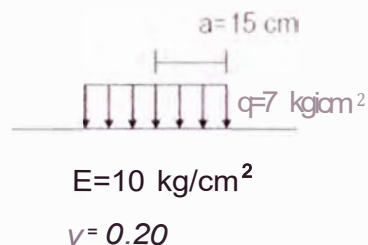
Por otro lado, de acuerdo a la Ley de Hooke Generalizada, considerando que solo actúan las cargas aplicadas sobre la estructura del pavimento en la dirección vertical, se puede determinar las siguientes expresiones para las deformaciones unitarias e_x y e_y :

$$e_x = \frac{v \sigma_z}{E}$$

$$e_y = \frac{v \sigma_z}{E}$$

Aplicación:

Determinaremos los esfuerzos y deformaciones en el tramo de vía afirmada a construir. Para ello, asumiremos que la subrasante esta conformada por arenas limo-arcillosas, de consistencia suelta, saturada y de baja capacidad de soporte, CBR de 1 %. El módulo elástico, E, de 10 kg/cm^2 y relación de Poison, v , 0.20. La carga aplicada es de 7 kg/cm^2 y el radio de contacto entre la llanta y la superficie de rodadura es 15 cm.



Solución:

Entonces, aplicando la ecuación 2.3 se obtiene σ_z y con la ecuación 2.4 se determina la e_z . para expresarla en porcentaje se multiplica por 100.

| Prof. (cm.) | σ_z (kg/cm ²) | e_z (%) |
|----------------|-------------------------------------|--------------|
| 0 | 7.0 | 50.40 |
| 5 | 6.8 | 58.37 |
| 10 | 5.8 | 54.70 |
| 15 | 4.5 | 44.46 |
| 30 | 2.0 | 20.35 |
| 45 | 1.0 | 10.56 |
| 60 | 0.6 | 6.30 |
| 75 | 0.4 | 4.15 |
| 90 | 0.3 | 2.93 |



Para el cálculo de la deflexión vertical máxima en la superficie (asentamiento en la superficie) y en el centro del área cargada utilizaremos la ecuación 2.5.

$$w_0 = \frac{2(1-\nu^2)}{E} q_a$$

$$w_0 = \frac{2(1-0.20^2)}{10 \text{ kg/cm}^2} 7 \text{ kg/cm}^2 \times 15 \text{ cm}$$

$$w_0 = 20.16 \text{ cm}$$

La distribución de esfuerzos y deformaciones en función de la profundidad es:

Fig. 2.11 Distribución de deformaciones

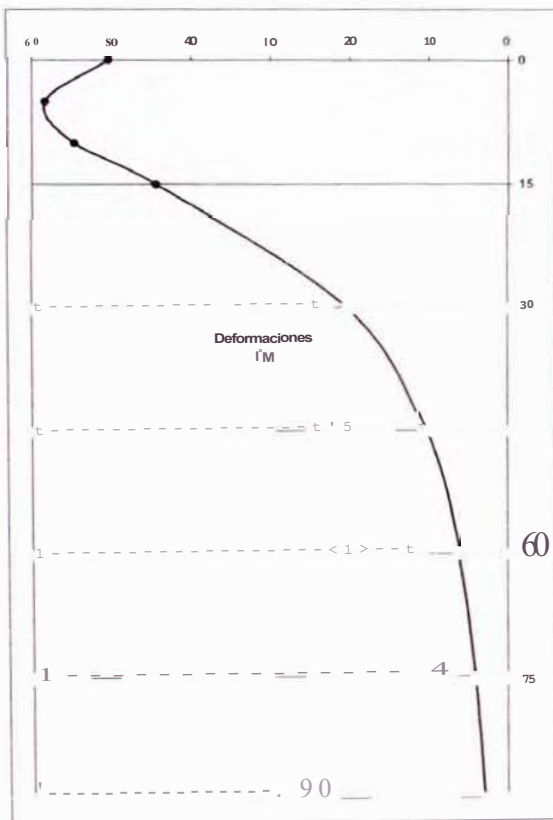
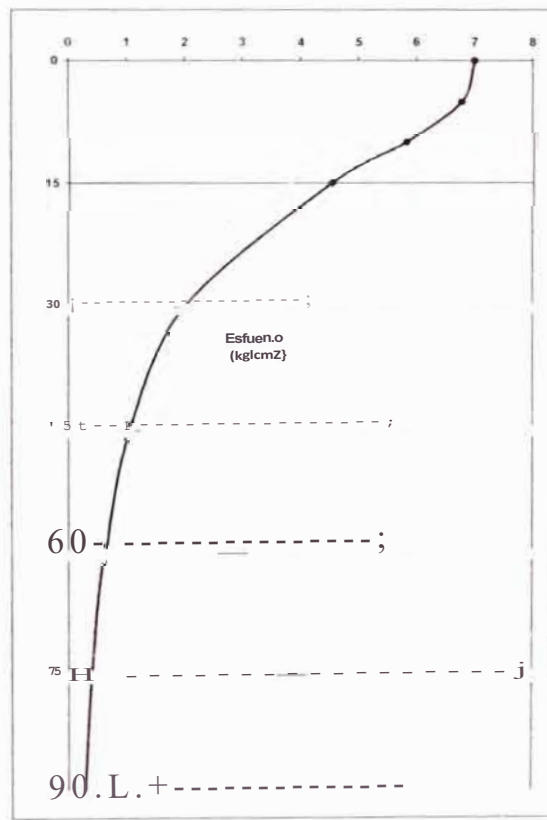


Fig. 2.12 Distribución de esfuerzos



De las figuras, de acuerdo a los parámetros de suelo tomados para el cálculo, se puede observar valores considerables de deformación llegando casi al 60 %.

También, de acuerdo al valor de la carga aplicada considerada, se puede observar que los primeros 30 cm de la subrasante asumen el 70% de los



esfuerzos transmitidos por el tránsito. Por tal motivo, bastará realizar en el sitio propuesto para el proyecto una excavación con una profundidad de 1.00 m con la finalidad de generar, en dicho sitio, la subrasante de baja capacidad de soporte. Todo lo referente a la generación de dicha subrasante será tratado mas adelante.

2.2.5 Características y Ventajas del Sistema Geoweb de Soporte de Carga [6]

A. Introducción

Los agregados o suelos naturales, que se utilizan en la construcción de las capas que constituyen la estructura del pavimento de una carretera, 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 Pórtland.

Por otra parte, la mayoría de las estructuras de soporte de carga requieren también de una buena capa de base y/o sub base 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.



Las arenas finas y de graduación uniforme son los mejores ejemplos de la debilidad inherente de los materiales granulares. La arena del desierto y la arena seca de la playa no pueden soportar la carga del tránsito por un carril sin que se formen huellas importantes debido a la falla localizada al corte del material cercano a la superficie. En vista de esto, la Estación Experimental de Vías de Agua (Waterways Experiment Station) del U.S. Army Corps of Engineers, inició un proyecto de investigación a mediados de los años 1970s con el objeto de investigar métodos para la construcción rápida de carreteras de arena para aterrizajes en playas y operaciones en el desierto, bajo la dirección de S.L. Webster [7]. Se determinó que el confinamiento celular tri-dimensional de la arena suelta constituía una alternativa práctica.

A fines de los 1970s, la Presto Products Company desarrolló el sistema Geoweb de confinamiento celular, en conjunto con la Corps of Engineers, como producto comercial para la estabilización de agregados sueltos.

La investigación de Webster demostró que la relación óptima entre la profundidad de la celda y su diámetro es de aproximadamente 1.0 para cargas de ruedas militares y civiles pesadas; y que el área de la superficie de una celda individual debería ser igual o menor que el área de contacto.

Según investigaciones [7], el sistema Geoweb de confinamiento celular, cerca de la superficie de un suelo de baja cohesión, bajo cargas concentradas, como las cargas de ruedas (ver Figura 2.13 y Figura 2.14), interrumpe el mecanismo de falla a través de las paredes verticales de las celdas.

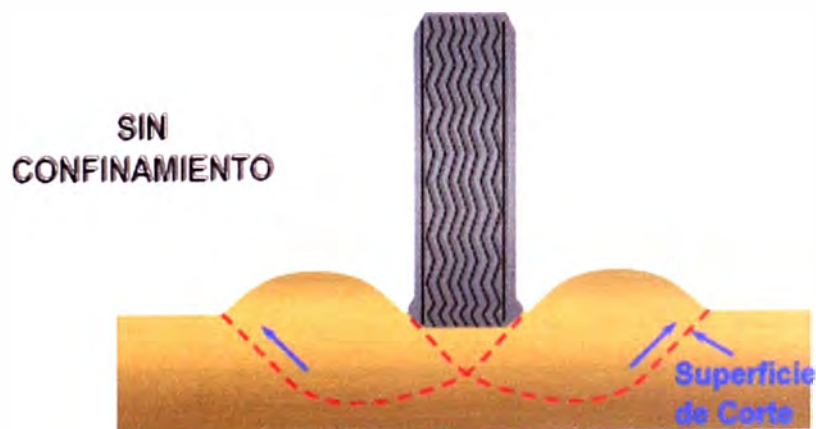


Fig. 2.13 Mecanismo de falla bajo carga

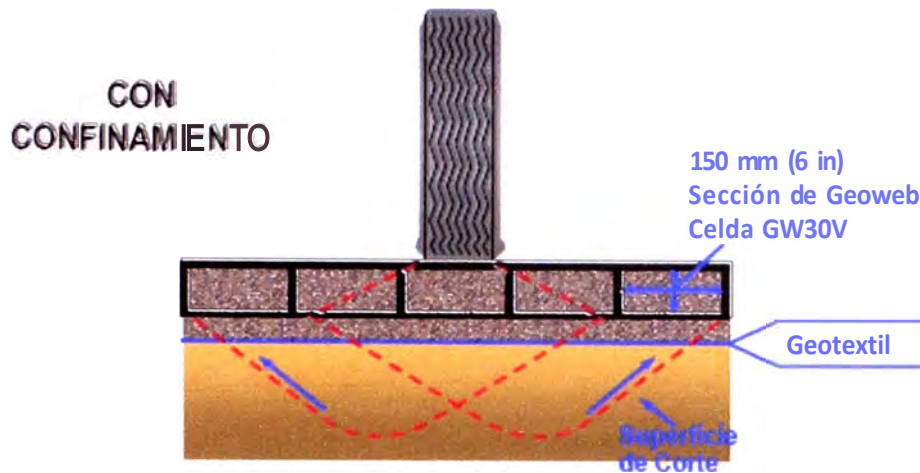


Fig. 2.14 Mecanismo de prevención de fallas

La redistribución de carga que ocurre dentro de la zona confinada es compleja e involucra la interacción tridimensional entre el suelo de relleno y la estructura celular. Si se considera una sola celda verticalmente cargada, se ha demostrado que la resistencia de las paredes perimetrales de dicha celda incrementa el esfuerzo de corte en el suelo contenido. Los ensayos triaxiales a gran escala indican que el rango de aumento del esfuerzo cortante en suelos confinados de baja cohesión esta en el orden de 150 kPa - 190 kPa. [7] (ver Figura 2.15 y Figura 2.16).

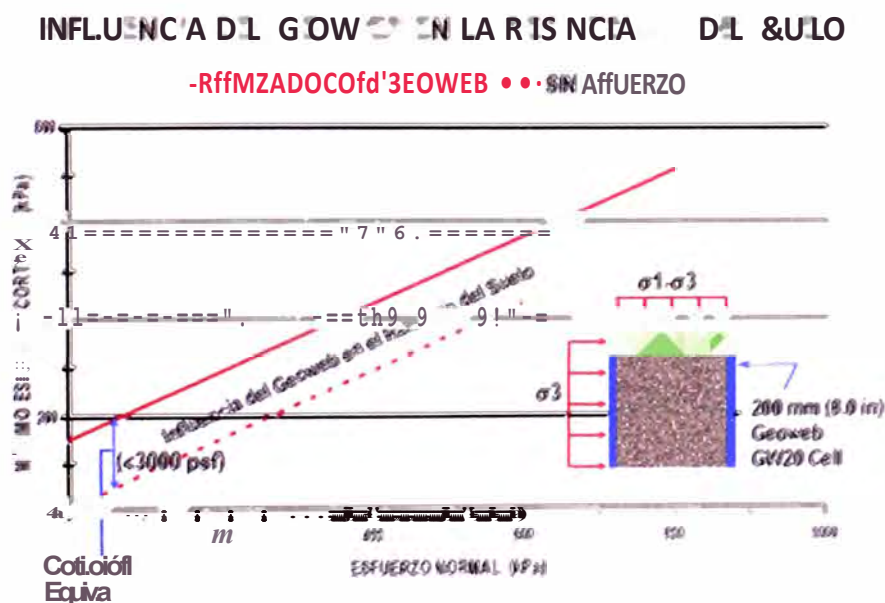


Fig. 2.15 Resultados de ensayos de compresión triaxial a gran escala



CONSTRUCCIÓN DEL CÍRCULO DE MOHR PARA EL CÁLCULO DE LA COHESIÓN EQUIVALENTE EN UN SUELO CON GEOWEB

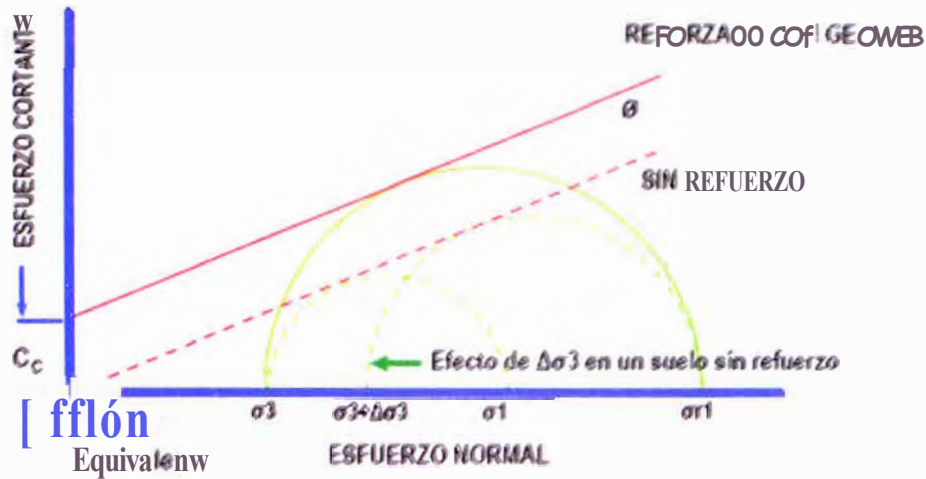


Fig. 2.16 Construcción del Círculo de Mohr para la composición Suelo-Geoweb

El sistema Geoweb consiste en un conjunto de fajas de polietileno conectadas por una serie de cordones de soldadura ultrasónica desfasados, a todo lo ancho de la faja, alineados perpendicularmente al eje longitudinal de las fajas. Al extenderse, las fajas interconectadas forman las paredes de una estructura de confinamiento celular que se puede llenar con material de relleno granular.

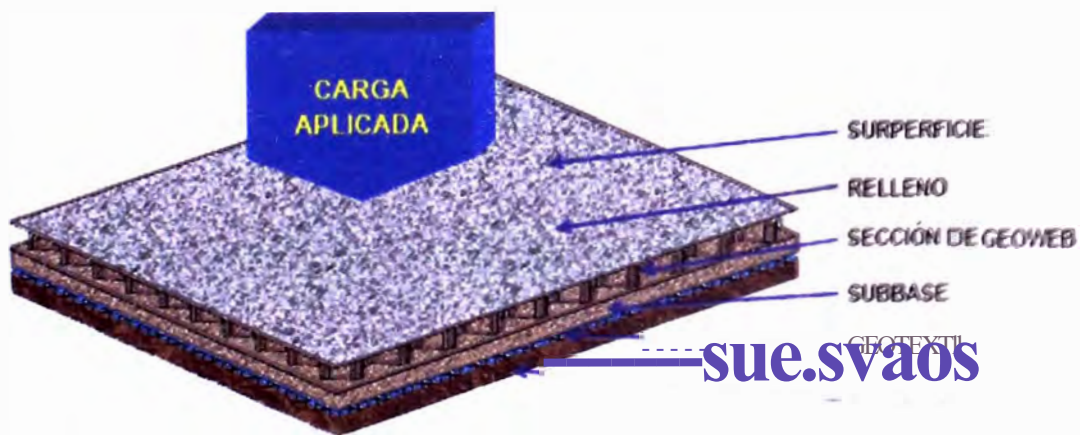


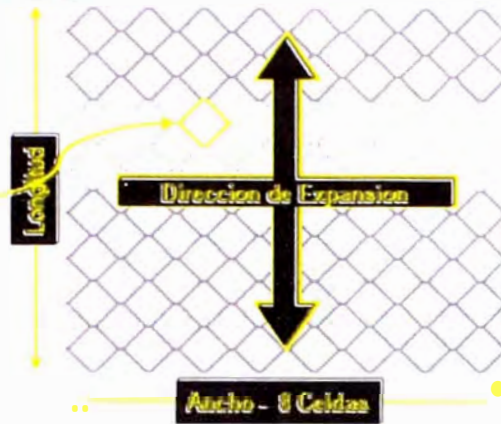
Fig. 2.17 Componentes de la Solución Sistema Geoweb de Soporte de Carga



SECCIÓN TÍPICA DE GEOWEB

CELDA GW30V

Área Nominal
46.0 m² (71.3 ft²)
Densidad
22 /m² (18 /yd²)



- 6 Secciones
- Longitud de 4.7 m a 12.6 m (15.4 ft a 41.4 ft)
- Ancho = 2.55 m ± 0.25 m (8.4 ft ± 0.8 ft)
- Profundidades = 75, 100, 150 & 200 mm (3, 4, 6 & 8 in)

Fig. 2.18 Típica sección de geoweb

Entre las mejoras más recientes aportadas al sistema Geoweb, se puede mencionar la textura de la superficie y las perforaciones en las paredes de las celdas que permiten mejorar por una parte la resistencia de fricción y por otra el drenaje lateral.

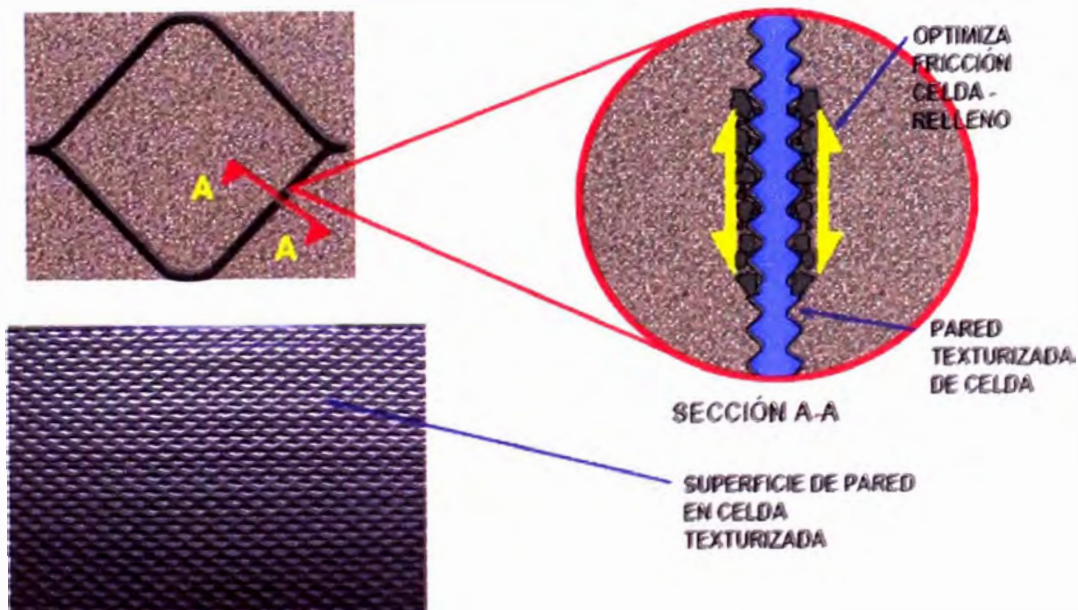


Fig. 2.19 Superficie de pared de celda texturizada

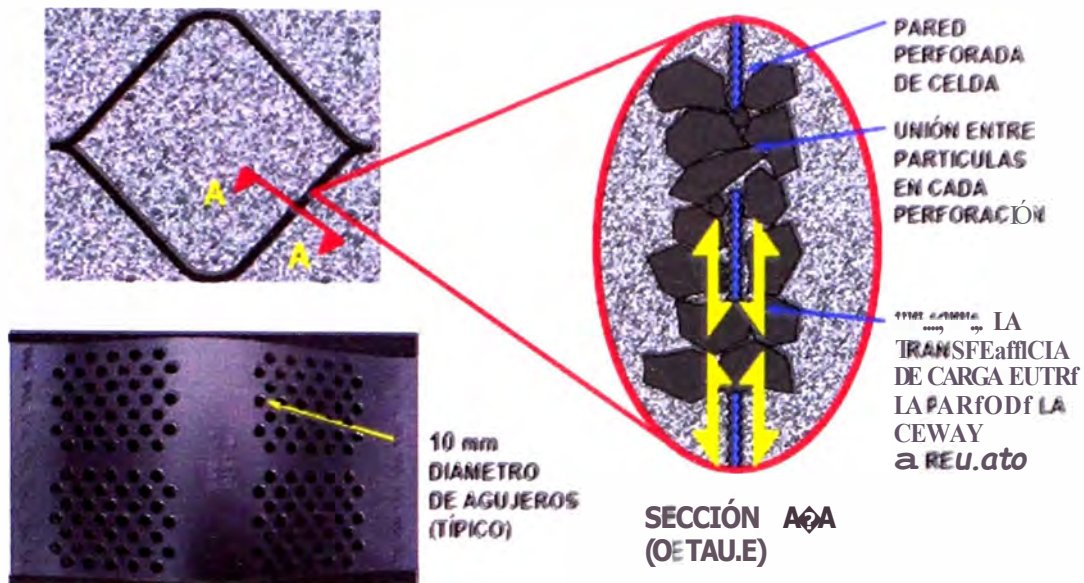


Fig. 2.20 Pared de celda perforada

B. Características y ventajas

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. En comparación con los materiales bidimensionales 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.

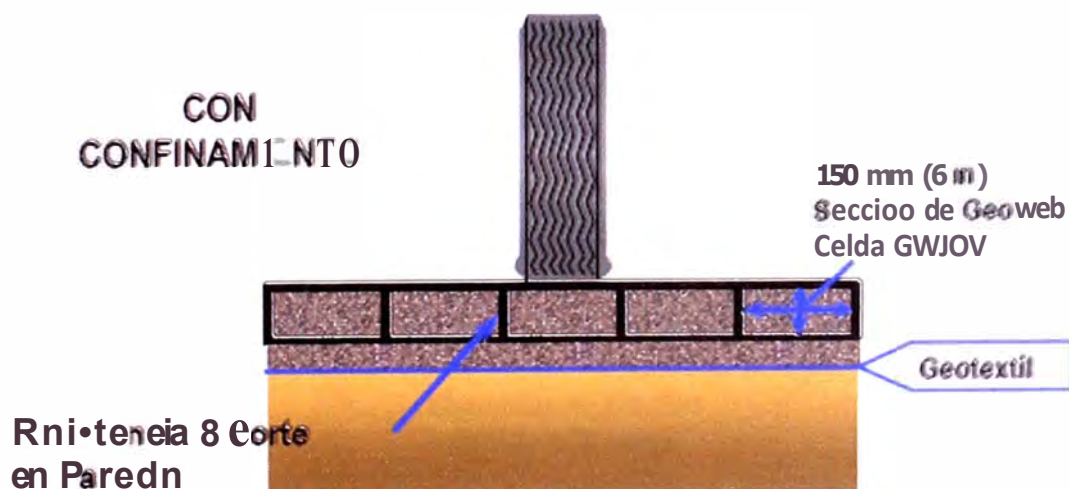


Fig. 2.21 Resistencia al corte en paredes de celda

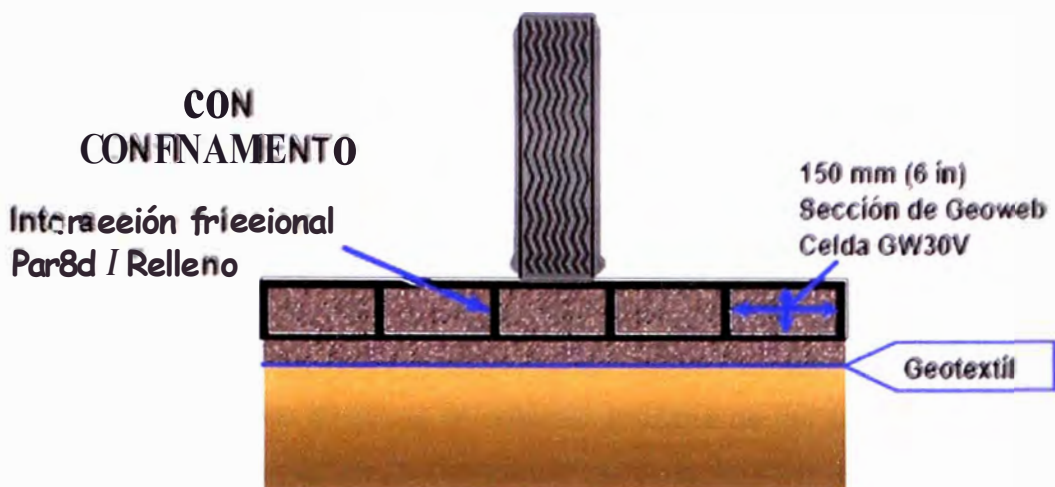


Fig. 2.22 Interacción friccional pared-relleno

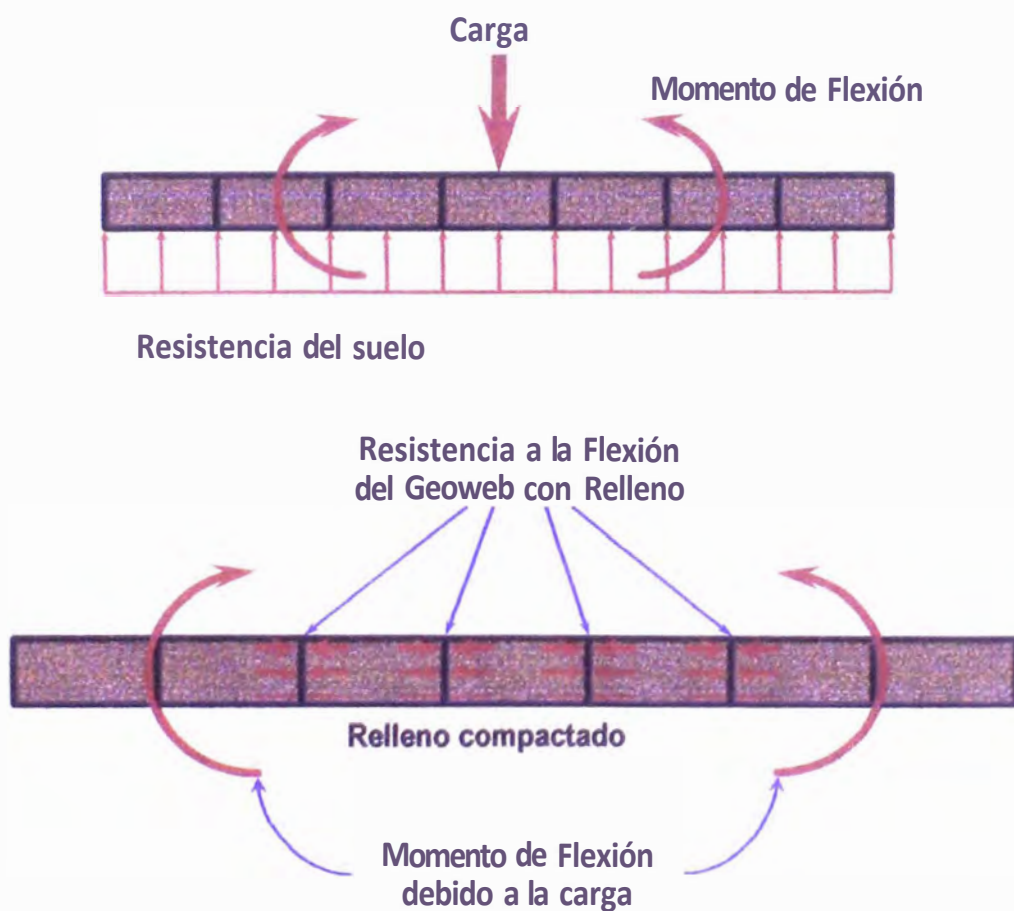


Fig. 2.23 Sistema de distribución de carga



El sistema Geoweb de confinamiento celular incrementa 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. De tal manera, como resultado de ensayos de corte directo, se han obtenido ángulos de resistencia al corte entre las paredes de celdas de Geoweb con tratamiento estándar y varios materiales granulares de relleno común. Estos 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). Estos valores se aprecian en el cuadro 2.1. Estos valores se han utilizado para el cálculo del espesor total de la base de arena o grava, incluyendo la sección de Geoweb.

Cuadro 2.1 Relación Máxima de Ángulo de Fricción

| Material de Relleno Granular | Tipo de Pared de Celda | $r = \sigma /$ |
|------------------------------|------------------------|----------------|
| Arena Gruesa / Grava | Lisa | 0.71 |
| | Textunzada | 0.88 |
| | Textunzada / Perforada | 0.90 |
| Arena Silícica ;40 | Lisa | 0.78 |
| | Textunzadn | 0.90 |
| | Textunznda ! Perforada | 0.90 |
| Piedra Chancada | Lisa | 0.72 |
| | Textunzada | 0.72 |
| | Textunznda Perforada | 0.83 |

Fuente: Referencia bibliográfica [6]

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.

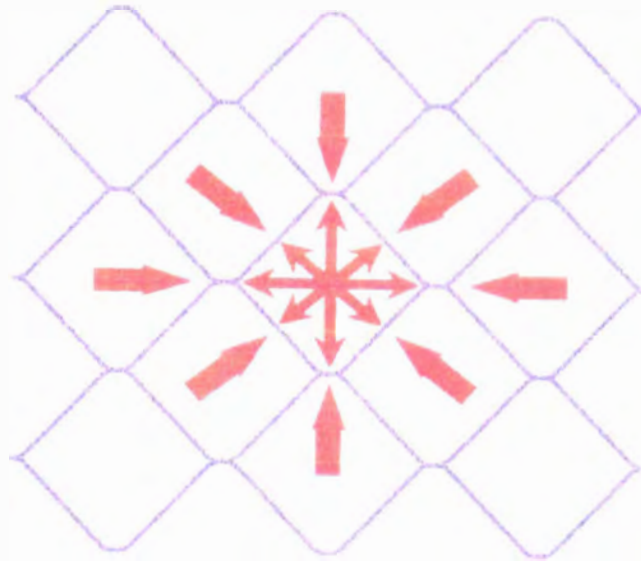


Fig. 2.24 Distribución de cargas concentradas a celdas vecinas

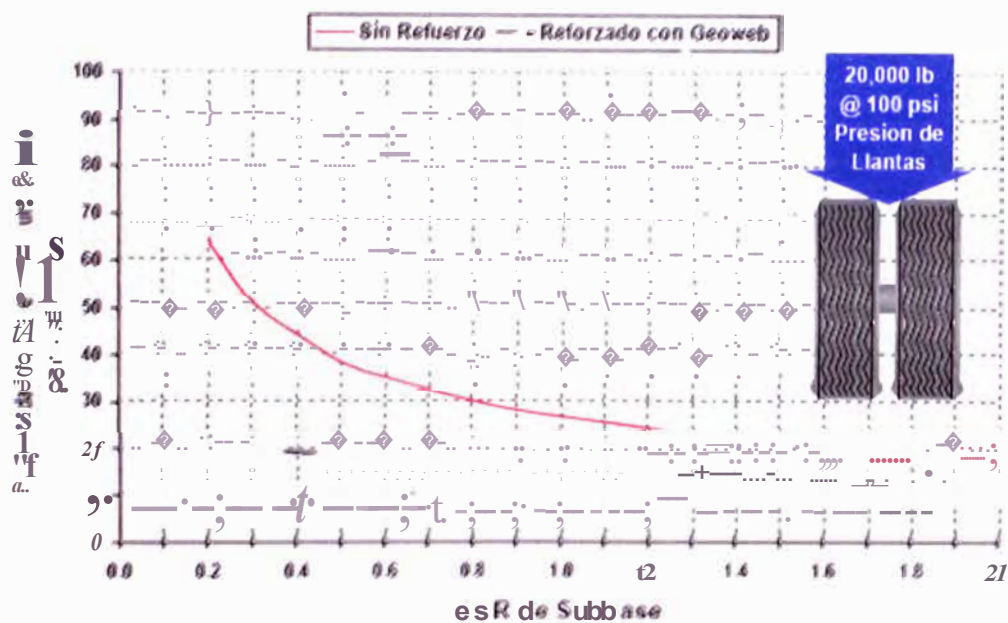


Fig. 2.25 Cuadro de diseño de espesores de base en función de su CBR

El sistema Geoweb de soporte de carga puede ofrecer 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. Finalmente, cuando se requiere una vida útil del pavimento más extensa y/o poco mantenimiento, el sistema Geoweb asegura la integridad de los materiales granulares de relleno por un tiempo más prolongado.

2.3 CONDICIONANTES DEL SUELO

El establecer las condicionantes del suelo del sitio propuesto para un proyecto implica realizar una serie de trabajos previos cuyos procedimientos generales, en sus diversas etapas, se pasan a mencionar [5]:

A. Método de Exploración de Campo del Terreno de Fundación

Las etapas de la exploración de campo son:

- a) Trabajo Preliminares de Gabinete.
- b) Exploración detallada del sitio y muestreo.
- c) Pruebas de laboratorio con las muestras.
- d) Ensayos in situ.
- e) Reporte de resultados.

B. Alcance de la Exploración del Sitio

La información generada por la exploración del lugar está relacionada con los depósitos superficiales de rocas y suelos. El objetivo consiste en obtener un modelo tridimensional del lugar para incluir todos los estratos que puedan llegar a afectarse por las cargas transmitidas al subsuelo.

La profundidad de exploración está relacionada con la transmisión de los esfuerzos, el alcance máximo de una calicata o ensayo de penetración ligera es hasta 1.50 m con respecto al nivel de subrasante.

C. Excavaciones a Cielo Abierto (calicatas)

Las calicatas pueden ser realizadas a mano o con una excavadora mecánica, y de exponer la sucesión de estratos para facilitar su inspección visual.



La ejecución de las calicatas requiere un conocimiento de los suelos encontrados, la identificación visual es muy importante durante esta etapa. Las muestras pueden tomarse manualmente del fondo y de las paredes laterales de la calicata.

Las calicatas permiten extraer muestras inalteradas que serán remoldeadas en el laboratorio, también permite obtener muestras inalteradas que serán protegidas para que no pierdan humedad natural y se pueden realizar ensayos de densidad in situ.

D. Ensayo de Penetración Ligera con Cono, DPL

Se utiliza el Cono Ligero Alemán de acuerdo a la Norma DIN 4094 incorporado en la Norma Técnica E0.50 de Suelos y Cimentaciones. Dado que el Cono Alemán transmite la misma cantidad de energía específica que el Ensayo de Penetración Standard S.P.T. - ASTM D 1586, según la Norma DIN, no es necesario utilizar correlaciones para la interpretación de los resultados, ya que el valor numérico de NSPT es similar al valor NDPL.

El equipo de cono ligero consiste de un cono de punta cónica de 90° y 2,2 cm. de diámetro. El martillo pesa 10 kg. y la altura de caída es de 50 cm. El valor NDPL corresponde al número de golpes para conseguir 10 cm. de penetración. El ensayo es continuo y se registran valores cada 10 cm. de profundidad. Fundamentalmente, el ensayo de penetración ligera es un ensayo de resistencia.

El ensayo de penetración ligera es un ensayo de resistencia que permite identificar, mediante la variación del valor NDPL, los espesores y densidad relativa de los estratos que conforman la subrasante.

E. Muestreo de Suelos, obtención de Muestras Inalteradas y Alteradas

Existen dos categorías principales de muestras de suelos:

a) Muestras Inalteradas

Se preserva, en la medida de lo posible, la estructura y el contenido de humedad para que representen las condiciones de campo, las muestras inalteradas son necesarias para ensayos de CBR en suelos finos como por ejemplo las arcillas, arenas limosas o arcillosas.



b) Muestras Alteradas

Las muestras alteradas se usan para la identificación del suelo y para pruebas de clasificación y calidad a medida que se recolectan, las muestras se introducen en recipientes de vidrio o plásticos y se sellan, también se pueden usar latas o bolsas de plásticos.

F. Identificación Visual y Manual de Muestras de Suelo ASTM D 2488

Pruebas de Campo para Clasificación

La identificación visual, es el reconocimiento preliminar del suelo sin necesidad de empleo de equipos o ensayos de laboratorio.

Esta identificación es una etapa inicial para el estudio de Mecánica de Suelos, que permite tomar decisiones y ajustar el programa de investigación.

a) Identificación y Descripción de Suelos Finos

Los suelos finos para su identificación necesitan de algunos ensayos de campo, para poder diferenciar las arcillas de los limos o de las arenas finas.

- Reacción a la Agitación o Dilatancia
- Ensayo de amasado o de tenacidad
- Resistencia en Estado Seco (a la disgregación)

b) Identificación y Descripción de Suelos Granulares

En campo se considera un tamaño de 5 mm. para separar gravas de arenas. En la descripción de un suelo granular se deben incluir ciertas características particulares de importancia, las cuales van a influir en su comportamiento.

- Suelo predominante (grava arenosa, arena con grava, etc.).
- Porcentaje estimado de bolones.
- Tamaño máximo de las gravas o bolones en pulgadas.
- Tamaño de los granos dominantes
- Porcentaje de finos.
- Estado de las partículas

Además de estos datos se debe indicar: angularidad, forma, cementación, dureza y rango de partículas.



G. Ensayos de Laboratorio

Las muestras representativas se remiten al laboratorio para su respectivo ensayo. Los ensayos que generalmente se solicitan para caracterizar el suelo con fines de pavimentación son:

a) *Ensayos para Clasificación de Suelos*

Los resultados de estos ensayos deben corroborar la identificación visual realizada en campo.

Los resultados del análisis granulométrico y los límites de consistencia se reportan gráficamente.

b) *Contenido de Humedad*

Se obtiene a partir de una muestra de aproximadamente 200 gr. que se protege en un recipiente o una bolsa cerrada. Esta muestra se traslada al laboratorio y se pesa. Se lleva al horno por 24 horas, y luego de este período se vuelve a pesar.

El contenido de humedad se reporta en porcentaje como:

$$w(\%) = \frac{\text{Peso suelo húmedo} - \text{Peso suelo seco}}{\text{Peso suelo seco}}$$

c) *Ensayo de Densidad Natural*

Establece la condición natural del terreno de fundación. En terrenos de fundación conformados por subrasantes arenosas y limo arcillosas, este valor permitirá remoldear muestras en el laboratorio a la densidad de campo. Las muestras así remoldeadas, serán ensayadas en la prensa de CBR para determinar el CBR de diseño.

Otra aplicación de este ensayo es en los controles de compactación de campo para el caso de la conformación de terraplenes, capas de afirmado, base y sub base.

d) *Contenido de Sales Solubles (Carbonatos, Cloruros y Sulfatos, etc)*

Se determina debido a que el contenido de sales solubles que pueden influir en el comportamiento mecánico o impactar en las obras de concreto como son los cloruros y sulfatos.



e) *Ensayo Proctor Modificado, ASTM O 1557*

El ensayo de compactación mediante el ensayo de proctor modificado, relaciona la humedad del suelo versus su densidad seca, empleando un martillo de 4.54 kg (10 lb) soltado desde una altura de 457 mm (18 pulg.), transmitiendo una energía de compactación de 56,000 lb-pie/pie³ ó 2,700 kN-m/m³.

En suelos granulares densos, la densidad de campo es muy cercana a la máxima densidad seca (MDS) del proctor modificado; sin embargo, en suelos finos como las arenas y arcillas limosas, la densidad de campo, generalmente, es mucho menor que la MDS.

La humedad natural de suelos arenosos y limo-arcillosos muchas veces alcanzan valores muy por encima del óptimo contenido de humedad (O.C.H.) y la densidad natural presenta valores mucho menores al Ensayo Proctor Modificado.

f) *California Bearing Ratio (C. B. R.)*

El ensayo de CBR, es usado para obtener un índice de la resistencia del suelo de subrasante, material de base, sub base o afirmado.

Para materiales de base, sub base y afirmado, así como subrasantes granulares, el CBR puede estar asociado a la máxima densidad seca del próctor modificado; sin embargo, para subrasantes finas (subrasantes arenosas, arcillosas o limosas) el valor del CBR debe estar asociado a su densidad de campo. Investigaciones han demostrado que el CBR de suelos finos en muestras compactadas al OCH y MDS, arrojan valores de CBR muy por encima de su valor real.

El comportamiento de la subrasante es función de la humedad y densidad, asociado a las condiciones ambientales del sitio. En suelos de baja capacidad de soporte donde los valores de humedad alcanzan la condición saturada y los valores de densidad de campo están muy por debajo de la densidad de compactación, los valores de los módulos elásticos realmente son muy bajos. Se proponen tres métodos para determinar el valor de CBR:

CBR in situ, mide directamente la deformación ante una carga aplicada,

CBR en muestras inalteradas, es un método recomendado para subrasantes de suelos finos. Consiste en obtener una muestra inalterada de campo. En el



laboratorio se realiza el ensayo de penetración en su condición natural y saturada, siguiendo el mismo procedimiento que en muestras remoldeadas.

CBR en muestras remoldeadas, método recomendado para subrasantes granulares, materiales de base, sub base y afirmado.

Los especímenes pueden ensayarse en su condición natural o saturada, luego de un período de inmersión en agua, la condición saturada es la más desfavorable.

El CBR es la relación (expresada en porcentaje) entre la resistencia a la penetración requerida para que un pistón de 3 pulg² de área penetre 0.1 pulg. dentro de un suelo entre 1000 psi que es la resistencia a la penetración de una muestra patrón. La muestra patrón es una piedra chancada. El CBR se expresa como:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Resistencia a la penetración (psi) requerida para penetrar 0.1 pulg}}{1,000\text{lb/pulg}^2} \cdot 100$$

En ocasiones, el CBR calculado para una penetración de 0.2 pulg. con su correspondiente resistencia a la penetración estándar de 1500 psi, puede ser mayor que el obtenido para una penetración de 0.1 pulg. Cuando esto ocurre, se debe realizar un nuevo ensayo, si los resultados son similares, el valor del CBR para 0.2 pulg. de penetración, se importa como el CBR representativo de la muestra.

H. Concepto de Capacidad de Soporte de la Subrasante

Es la capacidad que tiene el suelo de soportar los esfuerzos verticales transmitidos por las cargas de tránsito. La deformación del suelo y la deflexión resultante deberán ser menores a las admisibles.

Para que la estructura de pavimento se comporte adecuadamente y cumpla el período de diseño, presentará una deflexión máxima de 0.20 mm. para cargas estáticas transmitidas por un eje estándar de 8.2 ton. La deflexión *máxima*, bajo cargas estáticas, puede ser *medida* con la Viga Benkelman, esto significa que al nivel de subrasante la deflexión máxima será de 0.5 a 1 mm.



L Estratigrafía de los suelos, nomenclatura y simbología

Consiste en realizar la descripción de los diferentes estratos que conforman el terreno investigado. Se detallan las características físicas, clasificación visual, color, humedad, plasticidad de los finos, consistencia o densidad relativa y algunas características particulares como cementación, presencia de troncos, raíces o cualquier material extraño. Se indica la profundidad a la que se encuentre el nivel freático, indicando la fecha de medición y comentarios sobre su variación en el tiempo.

Además, es importante indicar, el resultado de los ensayos de laboratorio obtenidos para los estratos evaluados.

J. Registro estratigráficos

Todos los resultados de la evaluación de campo y ensayos de laboratorio se indican en los registros estratigráficos.

Los registros estratigráficos se preparan para cada calicata o cada exploración con equipo de penetración.

K. Peñil longitudinal del terreno

El perfil longitudinal del terreno en estudio es el resultado gráfico de la interpolación de las calicatas. En este perfil se visualiza la disposición de los estratos en toda la subrasante.

Los perfiles se obtienen de los trabajos de campo, como calicatas y ensayos de penetración.

Todos los resultados de laboratorio deben indicarse en este perfil.

2.3.1 Peñil del Suelo del Sitio Propuesto para el Proyecto

Como se indicó anteriormente, el objetivo general del proyecto busca demostrar las ventajas técnicas y económicas del sistema geoweb de soporte de carga a través de un mejoramiento estructural en el pavimento de una vía afirmada. Por otro lado, de acuerdo a experiencias y a los aspectos técnicos de este sistema geoweb de soporte de carga se estableció que este sistema tiene mayor sustento de aplicabilidad en problemas extremos de soporte de carga, como por ejemplo:

- Suelos de subrasante blandos
- Suelos superficiales inestables, (y los agregados escasean o son demasiados caros)

Por ello, en el sitio propuesto para el proyecto se buscó conseguir dichas condiciones extremas de baja capacidad portante. Sin embargo, en una primera inspección realizada in situ se pudo comprobar que el suelo del sitio propuesto presenta buenas condiciones de soporte de carga, que se deduce del alto grado de consolidación adquirido a lo largo de los años.

Por tal motivo, el perfil del suelo que se obtendrá como consecuencia del estudio de suelos que se realizará en esta primera etapa nos servirá, básicamente, para establecer los tipos y las cantidades de suelos con que se cuenta para poder generar, en una segunda etapa, un suelo degradado de baja capacidad portante.

Por ello, en el presente estudio se realizó un programa de investigaciones geotécnicas con la finalidad de evaluar las características y propiedades de los materiales de la posible cimentación que servirá de soporte al pavimento granular. Para la ejecución de las investigaciones se ha realizado exploraciones de campo, excavación de calicatas, de igual manera se tomaron muestras representativas del suelo de la posible cimentación para llevar a cabo las pruebas de laboratorio correspondientes.

Estos suelos serán llevados a condiciones controladas de densidad y humedad de tal forma de obtener una baja capacidad portante (C.B.R. < 1%). Para ello se construirá una poza experimental de 1.00 m. x 1.00 m. x 1.00 m. en la cual se realizará una serie de ensayos con los materiales obtenidos de la excavación de tal forma de conseguir las condiciones buscadas.

A. Metodología

a) Trabajo de campo

Personal técnico del Laboratorio Geotécnico del Laboratorio Nacional de Hidráulica conjuntamente con los integrantes del grupo de trabajo se han constituido en la zona del proyecto para verificar in-situ las condiciones físicas del área donde se proyecta 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 buscó 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.

b) 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.

B. Investigaciones realizadas

Para esta primera etapa se han determinado las características 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.

a) Calicatas

Llamaremos calicatas a los tres puntos elegidos a lo largo la excavación (ver Cuadro 2.2). C-1 y C-3 se encuentran en los extremos y C-2 en el centro (ver plano PS-01 en Anexos). De cada punto se ha extraído muestras para los respectivos ensayos de laboratorio.



Cuadro 2.2 Calicatas

| Calicatas | Profundidad promedio (m) |
|-----------|--------------------------|
| C-1 | 1.03 |
| C-2 | 1.17 |
| C-3 | 1.00 |

b) Registros de las investigaciones 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 como color, humedad, consistencia, clasificación y simbología gráfica (ver Anexos).

C. Ensayos de Laboratorio

Con las muestras disturbadas extraídas de las calicatas de exploración se determinó 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:

- | | |
|---|-------------|
| a) Contenido de humedad | ASTM 0-2216 |
| b) Análisis granulométrico por tamizado | ASTM 0-422 |
| c) Límite líquido | ASTM 0-423 |
| d) Límite plástico | ASTM 0-424 |

D. 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 (ver secciones 1-1, 2-2 y 3-3 del plano PS-01 en Anexos). En general los



materiales encontrados en el suelo del sitio propuesto, de acuerdo a la clasificación SUCS, se mencionan a continuación:

- a) GP = Mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos
- b) SW = Arenas gravosas bien gradadas con pocos finos
- c) SM = Arenas limosas, mezclas de arena limo
- d) SC = Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla
- e) CL = Arcillas arenosas con arcillas de baja plasticidad

Los reportes de los ensayos de laboratorio correspondientes se encuentran en Anexos. El Cuadro 2.3 resume los resultados de los ensayos de laboratorio realizados.

Cuadro 23 Resultados de los Ensayos de Laboratorio

| Calicatas | Muestras | Contenido de Humedad (%) | Limite Plástico | Límite Líquido | Indice 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. | SM |
| C-2 | M-1 | 1.14 | 19.42 | 29.98 | 10.55 | se |
| | M-2 | 1.23 | 17.6 | 23.01 | 5.4 | CL-ML |
| | M-3 | 0.55 | N.P. | N.P. | N.P. | SM |
| C-3 | M-1 | 1.28 | 16.38 | 22.6 | 6.22 | CL-ML |
| | M-2 | 1.05 | 12.5 | 20.65 | 8.15 | se |
| | M-3 | 0.56 | N.P. | N.P. | N.P. | SW |

E. Peñil 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. Ver secciones 1-1 y 2-2 del plano PE-01 en Anexos.



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

a) 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, humedad baja, de consistencia firme con algunos sectores suaves, presenta a todo lo largo del tramo una potencia homogénea. Representa un volumen en corte de 8.50 m^3 aproximadamente. Las propiedades físicas de los suelos que forman este estrato se pueden apreciar en el Cuadro 2.3 para los valores correspondientes a la muestra M-1.

b) Estrato Intermedio

Suelo formado básicamente por arcillas arenosas con arcillas de baja plasticidad y en ciertos sectores se observan arenas limosas. Dentro de la clasificación SUCS viene a ser un CL. Humedad alta, consistencia dura, muy compacto. Este estrato posee la mayor potencia en comparación con los otros. Representa un volumen en corte de 21.11 m^3 aproximadamente. Las propiedades físicas de los suelos que forman este estrato se pueden apreciar en el Cuadro 2.3 para los valores correspondientes a la muestra M-2.

e) Estrato Intermedio

Suelo formado en la parte inicial y central del tramo por arenas gravosas bien gradadas con pocos finos que dentro de la clasificación SUCS vendría a ser un suelo SW; y en la parte final del tramo presenta mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos que vendría a ser un GP dentro de la clasificación SUCS. Presenta una humedad seca y consistencia suave. Representa un volumen en corte de 7.21 m^3 aproximadamente. Las propiedades físicas de los suelos que forman este estrato se pueden apreciar en el Cuadro 2.3 para los valores correspondientes a la muestra M-3.

2.3.2 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.

2.4 IMPLEMENTACIÓN DEL SUELO DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE Y OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

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 experimental, 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 utilizará como subrasante. Finalmente, se implementó la subrasante de acuerdo a las condiciones encontradas en la poza experimental y se realizaron los últimos ensayos de campo y laboratorio de verificación.

2.4.1 Trabajos de Campo

A. Materiales obtenidos de la excavación

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

- a) Los suelos finos del estrato superior e intermedio en la obtención del suelo de baja capacidad portante. Es decir, utilizaremos la mezcla de ambos para la poza experimental y, por ende, en la generación de suelo degradado. Se tomaron muestras de estos suelos excavados para los respectivos ensayos de laboratorio.
- b) Los suelos de grano grueso del estrato inferior, 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.

B. Determinación de las condiciones de humedad y densidad en la poza experimental

La poza experimental 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 2.4 se realizaron los cálculos para la obtención del volumen de agua a colocar para lograr la saturación del suelo 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. Pasado dicho tiempo se realizaron los ensayos de penetración *in-situ* con un penetrómetro y un presurómetro manuales y se tomó una muestra con el anillo para determinar la densidad de campo en el sector en donde se realizaron los ensayos de penetración *in situ*.

C. Implementación de la subrasante de baja capacidad portante

Con las mismas condiciones y características modeladas en la poza experimental 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 experimental en una profundidad aproximada de 1.10 m. Se calculó el volumen de agua para lograr la saturación de todo el suelo colocado en la poza excavada. Se utilizaron las propiedades físicas del suelo generado indicadas en el Cuadro 2.7 para la obtención del cálculo indicado anteriormente.

2.4.2 Ensayos de Laboratorio

A. Materiales obtenidos de la excavación

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

- a) Relación de Soporte de California (CBR) ASTM D-1883-87



- | | |
|---|----------------|
| b) Proctor Modificado - Método "A" | ASTM D-1557-78 |
| c) Análisis granulométrico por tamizado | ASTM 0-422 |
| d) Límite Líquido | ASTM 0-423 |
| e) Límite Plástico | ASTM 0-424 |
| f) Contenido de humedad | ASTM 0-2216 |
| g) Peso Específico Relativo de Sólidos | ASTM 0-854 |

B. Determinación de las condiciones de humedad y densidad en la poza experimental

Es esta parte del estudio, se tomaron muestras inalteradas para realizar los siguientes ensayos:

- Densidad de campo (anillo)
- Relación de Soporte de California (CBR) ASTM 0-1883-87
- Compresión Simple Inconfinada

C. Implementación de la subrasante de baja capacidad portante

En esta parte del estudio, se tomaron muestras en tres anillos para la obtención de las densidades de campo. Con la finalidad de verificar las propiedades físicas del suelo colocado, se realizaron otros ensayos de laboratorio que a continuación se mencionan:

- | | |
|---|-------------|
| a) Densidad de campo (anillo) | |
| b) Contenido de humedad | ASTM D-2216 |
| c) Análisis granulométrico por tamizado | ASTM D-422 |
| d) Límite Líquido | ASTM 0-423 |
| e) Límite Plástico | ASTM D-424 |
| f) Densidad Mínima | ASTM D-4253 |
| g) Densidad Máxima | ASTM D-4254 |
| g) Peso Específico Relativo de Sólidos | ASTM D-854 |

Los reportes de los ensayos de laboratorio correspondientes a las tres partes antes señaladas se encuentran en Anexos.



2.4.3 Resultados

A. Materiales obtenidos de la excavación

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados en esta parte del estudio se presentan en el Cuadro 2.4.

Cuadro 2.4 Resultados de los Ensayos de Laboratorio

Ensayo de Compactación y Valor Relativo de CBR

| Muestra | MDS | OCH | CBR | CBR |
|---------|---------|------|-----------------------|-------------------|
| | (gr/ce) | (%) | al 100% MDS (%) | 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 | Clásificación SUCS |
|---------|--------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| M-1 | 23.40 | 32.89 | 9.49 | se |

Contenido de Humedad y Peso Especifico

Relativo de Sólidos (Gs)

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

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.



B. Determinación de las condiciones de humedad y densidad en la poza Experimental

En esta parte del estudio, el valor encontrado para el CBR (Cuadro 2.4) de las muestras ensayadas 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/ce 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 densidad seca vs. humedad y densidad seca vs. CBR, obtenidos de los ensayos de compactación y valor relativo del CBR (Cuadro 2.4), generando una tercera gráfica que resulta de las proyecciones de las curvas a valores de densidad seca y CBR menores respectivamente. Esta gráfica se presenta en Anexos y los resultados de la proyección se indican en el Cuadro 2.5.

Cuadro 25 Valores proyectados de humedad y CBR

| Densidad | Contenido de | CBR | CBR |
|----------|--------------|----------|---------|
| -Seca | Humedad | (0.1 0') | (0.20') |
| (gr/ce)- | -(%) | %(%) | -(%) |
| 1.80 | 15.60 | 0.85 | 1.55 |

También, en esta parte del estudio, de los ensayos de laboratorio realizados se han obtenido el CBR, el esfuerzo último (q_u) y la resistencia al corte sin drenaje (c).

Estos resultados representan los parámetros geotécnicos que se utilizarán en el pre-diseño del pavimento granular con el sistema geoweb de soporte de carga que se aplicará sobre la subrasante generada en el sitio del proyecto. El resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados se presenta en el Cuadro 2.6.

Cuadro 26 Parámetros Geotécnicos para el Diseño

| Suelo | CBR | q_u | e |
|------------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| Material | al 95% MDS (%) | (Kg/cm ²) | (Kg/cm ²) |
| Subrasante | 0.30 | 2.69 | 1.345 |

C. Implementación de la subrasante de baja capacidad portante

El resumen de los ensayos de laboratorio realizados para esta parte del estudio se presenta en el Cuadro 2.7.

Cuadro 27 Resultados de los Ensayos de Laboratorio

| Suelo | Gontenido de Humedad | Limite Plástico | Limite Líquido | Indice Plástico | Densidad Mínima (gr/ce) | Densidad Máxima (gr/ce) | Gs | Clasificación SUCS |
|------------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|------|--------------------|
| Material | (%) | | | | | | | |
| Subrasante | 7.51 | 7.74 | 20.30 | 12.56 | 1.81 | 2.34 | 2.62 | CL |

Se puede verificar que los resultados son muy similares a los obtenidos anteriormente.

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 (D) se verificó el valor del CBR utilizado para el pre-diseño del pavimento granular (CBR=0.30 %).

a) Perfil del suelo generado

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 muy suave y/o blanda. Presenta a todo lo largo del tramo una potencia homogénea de 0.80 m aproximadamente.

- Estrato Intermedio, esta representado por el material geosintético utilizado para impermeabilizar la poza. Representa un estrato impermeable que confina el estrato superior.
- Estrato Inferior, suelo formado por mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos. Presenta un contenido de humedad bajo y consistencia suelta.

b) 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.



CAPITULO 111

PARÁMETROS DE DISEÑO DE UN PAVIMENTO

Uno de los objetivos específicos trazados en esta evaluación geotécnica ha sido determinar los parámetros geotécnicos que serán utilizados en el diseño del pavimento granular con aplicación del sistema geoweb de soporte de carga. Por tal razón, antes de evaluar la subrasante generada de baja capacidad portante, es importante conocer el criterio, los métodos y los parámetros del diseño con el sistema geoweb de soporte de carga.

3.1. CRITERIOS Y MÉTODOS DE DISEÑO

En la actualidad, 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. 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 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.

A continuación, se presenta un análisis de los métodos de diseño disponibles en la actualidad para los sistemas Geoweb de pavimentos granulares.

A. Pavimentos Asfálticos

Los métodos convencionales de diseño de pavimentos flexibles (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, 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 aceptados por los organismos estatales, que puedan utilizarse con los métodos actuales de diseño de pavimento para el sistema Geoweb.

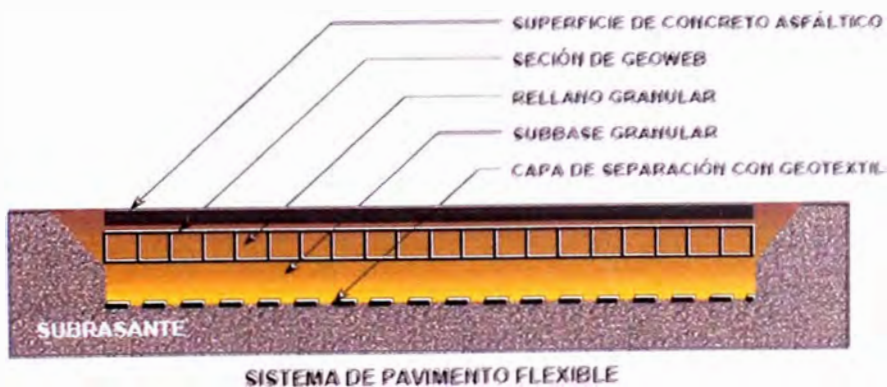


Figura 3.1 Sistema de Pavimento Asfáltico



Sin embargo, se logra diseñar estructuras de pavimento que incorporen el sistema Geoweb, combinando los métodos convencionales de diseño de pavimento con una metodología teórica para determinar la equivalencia estructural de una capa de pavimento confinado.

B. Pavimentos Granulares

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.

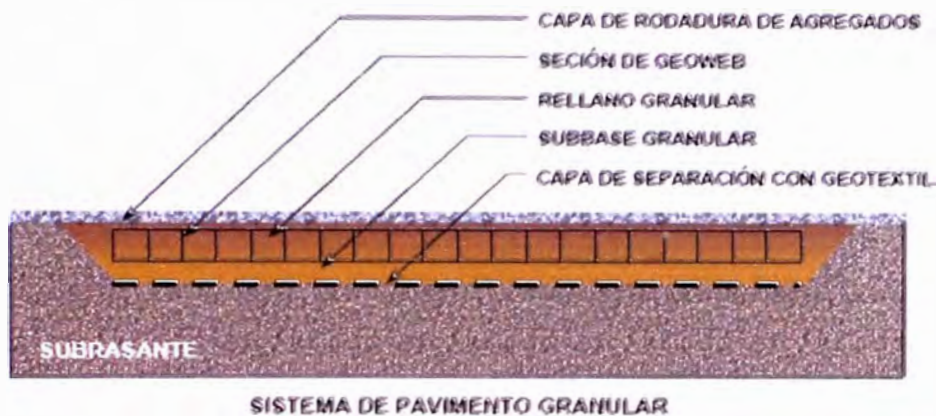


Figura 3.2 Sistema de Pavimento Granular

Los parámetros geotécnicos necesarios para el diseño de estos tipos de pavimentos de la evaluación de la resistencia de la subrasante y para ello 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 resistP.ncia

del suelo de subrasante puede estimarse por su consistencia (ver lo relacionado con Identificación en el Campo en el Cuadro 3.1). 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 (agua de lluvia, clima seco y caliente, etc.).

Cuadro 3.1 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 (psf) | Resistencia Normal a la Penetración SPT (golpes/pie) | Identificación de Campo |
|---|---|---|--|
| <0.4 | < 11.7 (17) | <2 | Muy blando (se estira entre los dedos al presionarlo) |
| 0.4 - 0.8 | 11.7 - 24 (17)-(35) | 2 - 4 | Blando (moldeable con una ligera presión de los dedos) |
| 0.8 - 1.6 | 24.1 - 47.6 (35) - (69) | 4 - 8 | Mediano (moldeable con una fuerte presión de los dedos) |
| 1.6 - 3.2 | 47.6 - 95.8 (69) - (139) | 8 - 15 | Rigido (fácilmente marcado por el pulgar pero difícil de penetrar) |
| 3.2 - 6.4 | 95.8 - 191 (139) - (277) | 15 - 30 | Muy rígido (fácilmente marcado por la uña del pulgar) |
| > 6.4 | > 191 (277) | > 30 | Duro (difícil de marcar con la uña del pulgar) |

Fuente: Referencia bibliográfica [6]

Se señala a continuación los ensayos más comunes para determinar la resistencia de los suelos de la subrasante:

- Ensayo del CBR (Relación de Soporte de California)
- Ensayo Normal de Penetración
- Ensayo de Resistencia al Corte

3.2. EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE

De la información correspondiente obtenida en la exploración de campo y de los ensayos de laboratorio del Estudio de Suelos del Capítulo 11 del presente informe, se puede establecer la siguiente descripción del suelo de subrasante generado en el sitio del proyecto:



- Arcillas arenosas, CL.
- 4.43 % de grava fina, dura y subangular, pocas partículas de grava fracturadas con un martillazo; tamaño máximo, 13 mm.
- 42.79% de arena fina a gruesa dura y subredondeada .
- 52.78 de finos arcillas limosas de plasticidad baja a media, resistencia en estado seco media, dilatación lenta y tenacidad media.
- Condiciones in-situ, consistencia suave, homogénea, contiene lentes de limo, humedad alta, marrón a gris; densidad natural 2.13 gr/cm^3 , humedad natural 21.62%.

Dentro de los suelos utilizados para carreteras, los suelos CL que conforman la subrasante se encuentra como regulares para formar sub-bases. Sin embargo, por las condiciones saturadas de humedad y de un confinamiento en sus tres dimensiones a través de paredes impermeables, que impiden cualquier intento de drenaje, el suelo de la subrasante pierde sus propiedades mecánicas hasta presentar una baja capacidad portante. Esto es debido a que su óptimo contenido de humedad (O.C.H.) se encuentra muy por debajo de su humedad natural (O.C.H.=8.40%; humedad natural=21.62%) y por ello nunca llegará a alcanzar la densidad equivalente al 95% o al 100% de su Máxima Densidad Seca (M.D.S.). Por lo tanto, el suelo de la subrasante presenta problemas de soporte de carga a consecuencia de la consistencia blanda de su estructura y la inestabilidad de su superficie en la que las cargas aplicadas puedan generar asentamientos. Además, se debe considerar que este suelo es de formación reciente con una consecuente no consolidación que comúnmente provoca deformaciones significativas que afectan la estructura del pavimento.

Toda esta condición del suelo de subrasante se refleja a través de los valores bajos obtenidos del ensayo de California Bearing Ratio y del ensayo de compresión simple confinada, realizadas a muestras inalteradas tomadas in-situ. De esta forma, se ha obtenido un **CBR=0.30%** que definitivamente es bajo si lo comparamos con la condición ($\text{CBR}_{\text{subrasante}} < 1\%$) que establece AASHTO M288-00 para que el geotextil cumpla correctamente con la función de refuerzo. De igual manera, se obtuvo un



valor del **esfuerzo último** (q_u)=1.59 kg/cm² que representa aproximadamente el 50% del esfuerzo último correspondiente al conglomerado de Lima (3-4 Kg/cm²) si queremos establecer un parámetro de comparación.

Por lo tanto, los valores indicados anteriormente son los parámetros geotécnicos requeridos por el método de diseño del sistema geoweb de soporte de carga.



CAPITULO IV

ANÁLISIS DE LA CIMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO

4.1 SUBRASANTE

El EG-2000, MTC define a la subrasante como "el nivel superior de la plataforma de una carretera" ... "donde se coloca la estructura del pavimento". Pero, el concepto de capacidad de soporte a nivel de subrasante o simplemente "capacidad de soporte de la subrasante" implica la evaluación estructural y por consiguiente la determinación de la respuesta mecánica de subsuelo hasta la "profundidad donde se puerderl generarse deformaciones significativas".

En la estructura del pavimento, las capas (elementos estructurales) que componen el pavimento no presentan asentamientos significativos, siendo la subrasante o cimentación del pavimento propenso a deformarse. Los suelos colapsables, expansivos, densificables, licuables, comprensibles, suelos inestables no consolidados o de formación reciente (módulos elásticos a 100 kg/cm²), tienen la característica común de presentar deformaciones significativas que afectarán la estructura del pavimento.

Es común utilizar el ensayo CBR, ASTM D 1883 para determinar la capacidad de soporte de la subrasante, pero no se considera la humedad ni la densidad *in situ* [5].

Se asume generalmente que la capacidad de soporte de la subrasante es el resultado del ensayo asociado a la Máxima Densidad Seca del ensayo Proctor Modificado. Lo correcto sería realizar el ensayo de CBR en campo; sin embargo, esta forma de ensayar resulta muy costosa y por ende no aplicable. Pero existe otra alternativa que consiste en utilizar el mismo molde CBR, llevarlo a campo y obtener una muestra inalterada. Esta práctica es recomendable especialmente en suelos finos, areno limosos [5].

En el laboratorio, se realiza la prueba de penetración sobre la muestra en condiciones naturales, obteniéndose así un valor representativo de la subrasante.

Justamente, esta última práctica, recomendada, es la que se aplicó en el proyecto para la obtención del valor del CBR que se utilizó en el diseño y también para la determinación del esfuerzo último a través del ensayo de compresión simple confinada. Del anterior capítulo, como consecuencia de la evaluación de la subrasante, se determinó problemas de soporte de carga ocasionados por el suelo blando e inestable que constituye la subrasante. El conseguir estas condiciones, representa uno de los objetivos específicos del estudio para poder demostrar que en estas condiciones problemáticas del suelo es correctamente aplicable el uso del sistema geoweb de soporte de carga.

4.2 SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE LA CIMENTACIÓN

Las soluciones convencionales, sin uso de Geoweb, que se podrían plantear en la subrasante generada, incluyen:

- La excavación del suelo blando y su reemplazo con relleno importado (generalmente granular).
- La estabilización química del suelo, o
- El diseño de una estructura multi-capas gruesa, que pueden incluir agregados de alta calidad, concreto asfáltico, y/o concreto de Cemento Pórtland.

Sin embargo, debido a la baja capacidad de soporte de carga sería complicado construir un colchón estable de fundación debajo de la estructura de carga, por ello se puede considerar la utilización del sistema Geoweb de confinamiento celular, con una capa de geotextil, que actúen como puente sobre el suelo blando y soporten los equipos de construcción, utilizando un espesor mínimo de material de recubrimiento.

CONCLUSIONES

1. De la figura 2.11, se establecen considerables porcentajes de deformación debido al bajo valor de CBR que llegan casi al 60% en los primeros 15 cm. de profundidad. De la figura 2.12, la distribución de esfuerzos ha permitido establecer la profundidad de excavación en el área de trabajo en función de que el 70% de los esfuerzos transmitidos se manifiestan en los primeros 30 cm.
2. Los resultados de los ensayos de laboratorio de los suelos utilizados tanto en la primera como en la segunda etapa del presente estudio han determinado propiedades físicas parecidas. Lo que demuestra que los tipos de suelos y las proporciones de estos han sido similares en ambas etapas.
3. Las verificaciones in situ, a través de los ensayos de penetración, han establecido similares propiedades mecánicas de las obtenidas en los ensayos de laboratorio con muestras inalteradas en las dos etapas del estudio. También, se han comprobado similares propiedades mecánicas entre los suelos de ambas etapas. Lo que nos indica la aplicación de las mismas condiciones de humedad y densidad en la poza experimental y en la implementación de la subrasante.
4. Se ha verificado que existe una considerable disminución de la capacidad de soporte en los suelos arcillosos-limosos cuando se encuentran en condiciones saturadas de humedad.
5. Obtener valores del CBR con muestras inalteradas de suelos arcillosos-limosos lleva a establecer resultados más acordes con el comportamiento real de dichos suelos.



6. El valor del CBR y la resistencia al corte sin drenaje constituyen los parámetros geotécnicos para el diseño de pavimentos granulares con el sistema geoweb de soporte de carga.



RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar con estudios referentes a la aplicabilidad del sistema geoweb de soporte de carga en subrasantes con suelos densificables y licuables.
2. Se recomienda continuar con la práctica del ensayo de CBR a través de la toma de muestras inalteradas *in-situ*, especialmente para suelos conformados por arenas limo-arcillosas.
3. Se recomienda realizar investigaciones orientadas a establecer correlaciones entre *el* CBR y *el* N *del* Ensayo de Penetración Ligera con Cono (DPL), con el objetivo de generar un método alternativo, confiable, para la rápida y económica determinación del CBR.

BIBLIOGRAFÍA

1. BERRY, Peter L - REID, David
"MECÁNICA DE SUELOS"
Primera edición, MacGraw-Hill Interamericana S. A
Santafé de Bogotá, Colombia, 1993
2. BOWLES, Joseph E
"MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS DE INGENIERÍA CIVIL"
Segunda edición, MacGraw-Hill Interamericana S. A
Santafé de Bogotá, Colombia, 1978.
3. MARTÍNEZ MORENO, Osear Manuel
"EVALUACIÓN GEOTÉCNICA CON FINES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES"
Informe de Suficiencia
Universidad Nacional de Ingeniería, 2006
4. MINAYA GONZÁLES, Silene-ORDOÑEZ HUAMÁN, Abel
"C.B.R. DE SUBRASANTES ARENOSAS Y LIMO-ARCILLOSAS"
UNI-FIC Instituto de Investigaciones
Lima, Perú, 2006
5. MINAYA GONZÁLES, Silene-ORDOÑEZ HUAMÁN, Abel
"DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS"
Segunda edición, UNI-FIC Instituto de Investigaciones
Lima, Perú, 2006
6. PRESTO PRODUCTS COMPANY
"EL SISTEMA GEOWEB DE SOPORTE DE CARGA - ASPECTOS TÉCNICOS"
Appletón, Wisconsin, USA, 2000



7. STEPHEN M, Martin-DANIEL F, Senf-R. E (Ernie), Crowe
"SOLVING ROADBED LOAD SUPPORT PROBLEMS CELLULAR
CONFINEMENT SYSTEMS"
USA, Junio 1995

8. UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA - DEPARTAMENTO
DE OBRA CIVILES
"4° CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA"
Primera Edición, Sociedad Chilena de Geotecnia
Valparaíso, Chile, 1997



ANEXOS

Registro de Sondajes

| Calicatas | Muestras | Características Físicas | Clasificación SUCS | Símbolo gráfico |
|-----------|----------|--|-----------------------|--------------------|
| C-1 | M-1 | Arena con finos. Mezcla de arena y arcilla, color gris claro con matices amarillentos, humedad baja y de consistencia firme. | se - | |
| | M-2 | Arcillas arenosas con limo, color marron oscuro, humedad alta y consistencia dura. | eL - | |
| | M-3 | Arena gravosas bien gradadas con pocos finos, con cantos rodados de tamaño máximo 2", color beage claro, humedad seca y de consistencia suave. | SW - | |
| C-2 | M-1 | Similar a M-1 de C-1 | se - | |
| | M-2 | Similar a M-2 de C-1 | CL - | |
| | M-3 | Similar a M-3 de C-1 | SW - | |
| C-3 | M-1 | Similar a M-1 de C-1 | se - | |
| | M-2 | Similar a M-2 de C-1 | eL - | |
| | M-3 | Mezcla de gravas y arenas mal gradadas con cantos rodados mayores a 2", la arena es de apariencia similar a M-3 de C-1. | GP | |



ENSAYOS DE LABORATORIO PRIMERA ETAPA



LABORATORIO GEOTECNICO

PROYECTO : MeJoram1ento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO : Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN : Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingenier1a
 HECHO POR : Y.F.A./M.A.L./K.C.L. FECHA : Marzo 2007

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM O - 2216

IMUESTRAS

| CALICATA | | e - 1 | e - 1 | e - 1 | | |
|-----------------------------------|---------------|------------|------------|------------|--|--|
| MUESTRAN° | | M - 1 | M - 2 | M - 3 | | |
| PROFUNDIDAD (m) | | 0.00-0.26 | 0.26-0.91 | 0.91-1.03 | | |
| FRASCO No | | 338 | 343 | 340 | | |
| 1. Peso recipiente + suelo húmedo | grs | 64.20 | 73.00 | 98.10 | | |
| 2. Peso recipiente+ suelo seco | grs | 63.36 | 72.05 | 97.20 | | |
| 3. Peso de agua | (1) - (2) grs | 0.84 | 0.95 | 0.90 | | |
| 4. Peso de recipiente | grs | 10.09 | 11.75 | 12.27 | | |
| 5. Peso de suelo seco | (2) -(4) grs | 53.27 | 60.30 | 84.93 | | |
| 6. Contenido de humedad | (3)/(5)*100 % | 1.58 | 1.58 | 1.06 | | |

IMUESTRAS

| CALICATA | | C-2 | C-2 | C-2 | | |
|-----------------------------------|---------------|------------|------------|------------|--|--|
| MUESTRAN° | | M - 1 | M - 2 | M - 3 | | |
| PROFUNDIDAD (m) | | 0.00-0.32 | 0.32-1.03 | 1.03-1.17 | | |
| FRASCO No | | 192 | 326 | 302 | | |
| 1. Peso recipiente + suelo húmedo | grs | 81.70 | 74.90 | 66.10 | | |
| 2. Peso recipiente + suelo seco | grs | 80.93 | 74.14 | 65.80 | | |
| 3. Peso de agua | (1) - (2) grs | 0.77 | 0.76 | 0.30 | | |
| 4. Peso de recipiente | grs | 13.16 | 12.27 | 11.01 | | |
| 5. Peso de suelo seco | (2) -(4) grs | 67.77 | 61.87 | 54.79 | | |
| 6. Contenido de humedad | (3)/(5)*100 % | 1.14 | 1.23 | 0.55 | | |

IMUESTRAS

| CALICATA | | C - 3 | e - 3 | C - 3 | | |
|-----------------------------------|---------------|------------|-----------|------------|--|--|
| MUESTRAN° | | M - 1 | M - 2 | M - 3 | | |
| PROFUNDIDAD (m) | | 0.00-0.34 | 0.34-0.70 | 0.70-1.00 | | |
| FRASCO No | | 306 | 98 | 337 | | |
| 1. Peso recipiente + suelo húmedo | grs | 76.60 | 80.00 | 81.40 | | |
| 2. Peso recipiente + suelo seco | grs | 75.77 | 79.30 | 81.01 | | |
| 3. Peso de agua | (1) - (2) grs | 0.83 | 0.70 | 0.39 | | |
| 4. Peso de recipiente | grs | 10.75 | 12.32 | 11.12 | | |
| 5. Peso de suelo seéo | (2) -(4) grs | 65.02 | 66.98 | 69.89 | | |
| 6. Contenido de humedad | (3)/(5)*100 % | 1.28 | 1.05 | 0.56 | | |

iANAüs is-GRAN uLoMErRico-PO R r ÁM1zA06

ASTM D 422

PROYECTO Meioramiento Estructural de Vias Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITAO Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 · 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.IK.C.L. FECHA Marzo 2007

PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

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

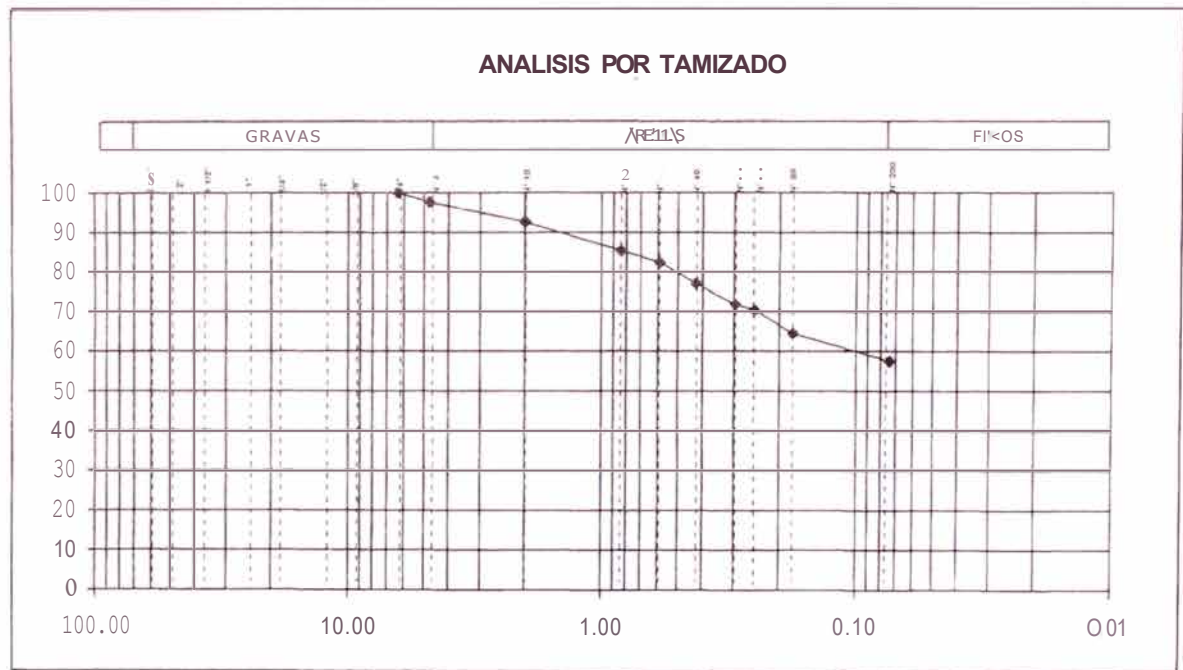
| |
|---------|
| |
| 230.000 |
| 97.700 |
| 132.300 |

D30
 D10
 Cu
 Cc

| | |
|--------|-------|
| Gravas | 2.39 |
| Arenas | 40.09 |
| Finos | 57.52 |

| | |
|--------|-------|
| Gruesa | 0.00 |
| Fina | 2.39 |
| Gruesa | 5.04 |
| Media | 15.57 |
| 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 | 4.760 | 5.50 | 97.61 |
| N° 10 | 2.000 | 11.60 | 92.57 |
| N° 20 | 0.840 | 16.40 | 85.43 |
| N° 30 | 0.590 | 7.00 | 82.39 |
| N° 40 | 0.426 | 12.40 | 77.00 |
| N° 50 | 0.297 | 1200 | 71.78 |
| N° 60 | 0.250 | 3.10 | 70.43 |
| N° 80 | 0.177 | 13.70 | 64.48 |
| N° 200 | 0.074 | 1600 | 57.52 |
| FONDO | | | |
| Limos 0.074mm < 0.005mm | | | |
| Arcillas < 0.005mm | | | |
| Coloides < 0.001mm | | | |





ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO 1

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 • 1 MUESTRA M • 2 PROF (m) 0.26-0.91
 ING RESP: ING. J. MARTINEZ TECNICO Y.F.A./M.A.UK.C.I. FECHA Marzo 2007

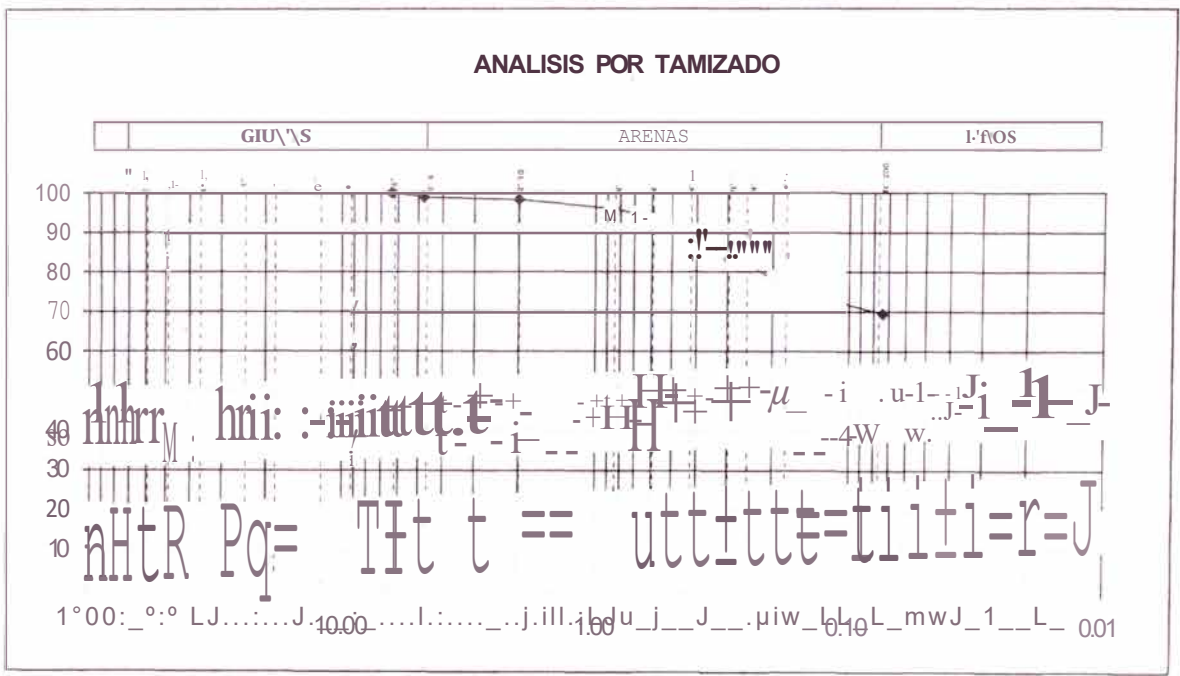
PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

| | |
|---|---------|
| 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) | 173800 |

D30
010
Cu
Ce §

| | | | |
|--------|-------|--------|-------|
| Gravas | 1.08 | Gruesa | 0.00 |
| | | Fina | 1.08 |
| Arenas | 29.40 | Gruesa | 0.64 |
| | | Media | 9.04 |
| Finos | 69.52 | Fina | 19.72 |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA(%) |
|-----------------------|----------------------------|---------------------|------------------------------|
| 3• | 76.200 | | |
| 2 112 | 63.500 | | |
| 2" | 50.800 | | |
| 1 112 | 38.100 | | |
| 1• | 25.400 | | |
| 3/4" | 19.050 | | |
| 1/2" | 12.700 | | |
| 3/8" | 9.525 | | |
| 1/4" | 6.350 | | 100.00 |
| N° 4 | 4.760 | 2.70 | 98.92 |
| N° 10 | 2.000 | 1.60 | 98.28 |
| N° 20 | 0.840 | 5.90 | 95.92 |
| N° 30 | 0.590 | 6.00 | 93.52 |
| N° 40 | 0.426 | 10.70 | 89.24 |
| N° 50 | 0.297 | 15.10 | 83.20 |
| N° 60 | 0.250 | 3.50 | 81.80 |
| N° 80 | 0.177 | 1.130 | 76.08 |
| N° 200 | 0.074 | 16.40 | 69.52 |
| FONDO | | | |
| Limos 0.074mm-0.005mm | | | |
| Arcillas < 0.005mm | | | |
| Coloides < 0.001mm | | | |



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D 422

PROYECTO Meloramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO Gu eo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 CALICITA C - 1 MUESTRA M • 3 PROF (m) 0.91-1.03
 ING RESP ING J MARTINEZ TECNICO Y F A/M A.I./K.C L FECHA Marzo 2007

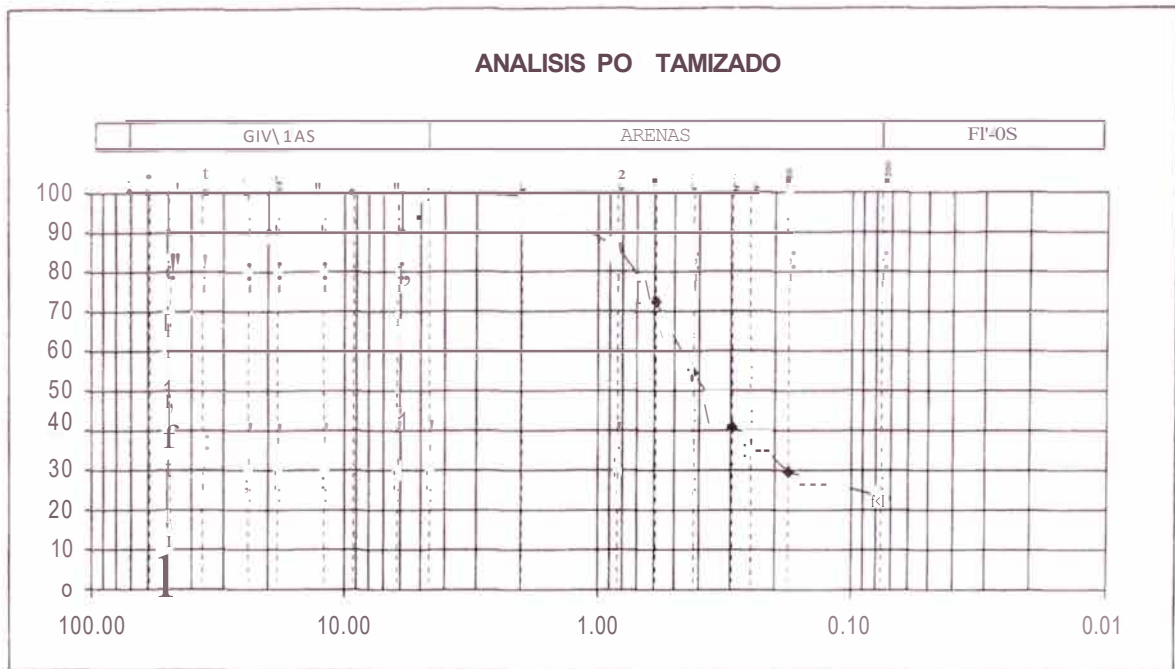
HUMEDAD NATURAL DE LA MUESTRA (%)
 PESO DE LA MUESTRA S:CA (gr)
 PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA (gr)
 PESOS DE FINOS LAVADOS (gr)

| | |
|--|---------|
| | |
| | 230.000 |
| | 176.600 |
| | 53.400 |

PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

| | | | | |
|------------------|--------|-------|--------|-------|
| 0.075 mm | Gravas | 0.00 | Gruesa | 0.00 |
| 0.075 - 0.075 mm | | | Fina | 0.00 |
| 0.075 - 0.075 mm | Arenas | 76.78 | Gruesa | 0.65 |
| 0.075 - 0.075 mm | | | Media | 44.78 |
| 0.075 - 0.075 mm | Finos | 23.22 | Fina | 31.35 |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA(%,) |
|--|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 3" | 76.200 | | |
| 2" | 63.500 | | |
| 2" | 50.800 | | |
| 1.125" | 36.100 | | |
| 1" | 25.400 | | |
| 3/4" | 19.050 | | |
| 1/2" | 12.700 | | |
| 3/8" | 9.525 | | |
| 1/4" | 6.350 | | |
| N° 4 | 4.760 | | 100.00 |
| N° 10 | 2.000 | 1.50 | 99.35 |
| N° 20 | 0.840 | 30.60 | 86.04 |
| N° 30 | 0.590 | 31.10 | 72.52 |
| N° 40 | 0.426 | 41.30 | 54.57 |
| N° 50 | 0.297 | 31.50 | 40.67 |
| N° 60 | 0.250 | 4.40 | 38.96 |
| N° 80 | 0.177 | 21.40 | 29.65 |
| N° 200 | 0.074 | 14.80 | 23.22 |
| FONDO | | | |
| Limos $0.074\text{mm} - 0.005\text{mm}$ | | | |
| Arcillas 0.005mm | | | |
| Coloides 0.001mm | | | |





ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO 1

ASTM O 422

PROYECTO: Melioramiento 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 - 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: Marzo 2007

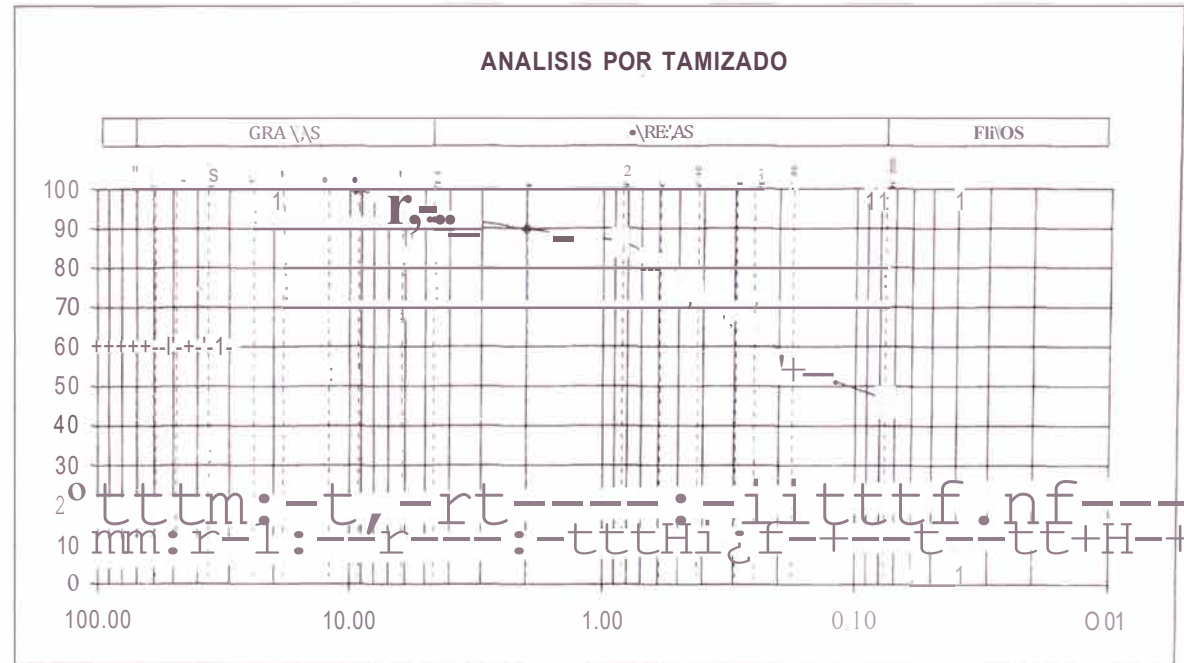
PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

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

| |
|---------|
| |
| 220.000 |
| 117.800 |
| 102.200 |

| | | | |
|--------|-------|--------|-------|
| Gravas | 6.41 | Gruesa | 0.00 |
| | | Fina | 6.41 |
| Arenas | 47.14 | Gruesa | 3.64 |
| | | Media | 14.36 |
| Finos | 46.45 | Fina | 29.14 |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (mm.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA(%) |
|-------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------------|
| 3- | 76.200 | | |
| 2 | 63.000 | | |
| 2' | 50.000 | | |
| 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 | 4.760 | 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 | 0.426 | 14.00 | 75.59 |
| N° 50 | 0.297 | 1770 | 67.55 |
| N° 60 | 0.250 | 3.30 | 66.05 |
| N° 80 | 0.175 | 24.10 | 55.09 |
| N° 200 | 0.074 | 19.00 | 46.45 |
| FONDO | | | |
| Limos 0.075-0.0075mm | | | |
| Arenilla: 0.075-0.425mm | | | |
| Coqueles < 0.0075mm | | | |



[A§us1s GRANULOMETRICO POR TAMIZADO 1

ASTM D 422

PROYECTO Meloramiento 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 - 2 MUESTRA M#2 PROF (m) 0.32-1.03
 ING RESP ING J MARTINEZ TECNICO Y.F.A./M.A.I./K.C.L. FECHA Maro) 2007

PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

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

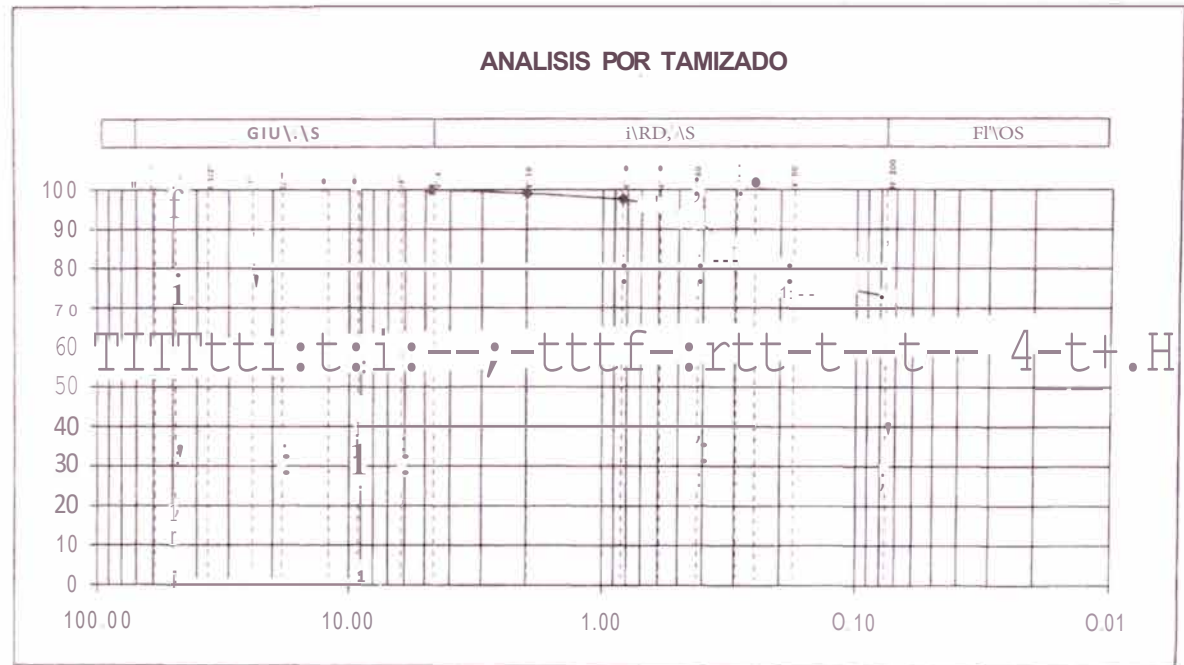
| |
|---------|
| |
| 250.000 |
| 67.700 |
| 182.300 |

030
040
050
060
070
080
090
100
Ce

| | |
|--------|-------|
| Gravas | 0.00 |
| Arenas | 27.08 |
| 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" | se eoc | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | |
| 3/8" | 25.400 | | |
| 3/16" | 19.050 | | |
| 1/2" | 12.700 | | |
| 3/16" | 9.525 | | |
| 1/4" | 6.350 | | |
| N° 4 | 4.760 | | 100.00 |
| N° 10 | 2.000 | 2.10 | 99.16 |
| N° 20 | 0.840 | 390 | 97.60 |
| N° 30 | 0.590 | 4.40 | 95.84 |
| N.40 | 0.426 | 10.10 | 91.80 |
| N° 50 | 0.297 | 14.30 | 86.08 |
| 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 | | | |
| Linos 0074mm-0.005mm | | | |
| Arcillas 0.005mm | | | |
| c., 10, des 0.001mm | | | |





ANÁLISIS-GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

ASTM D 422

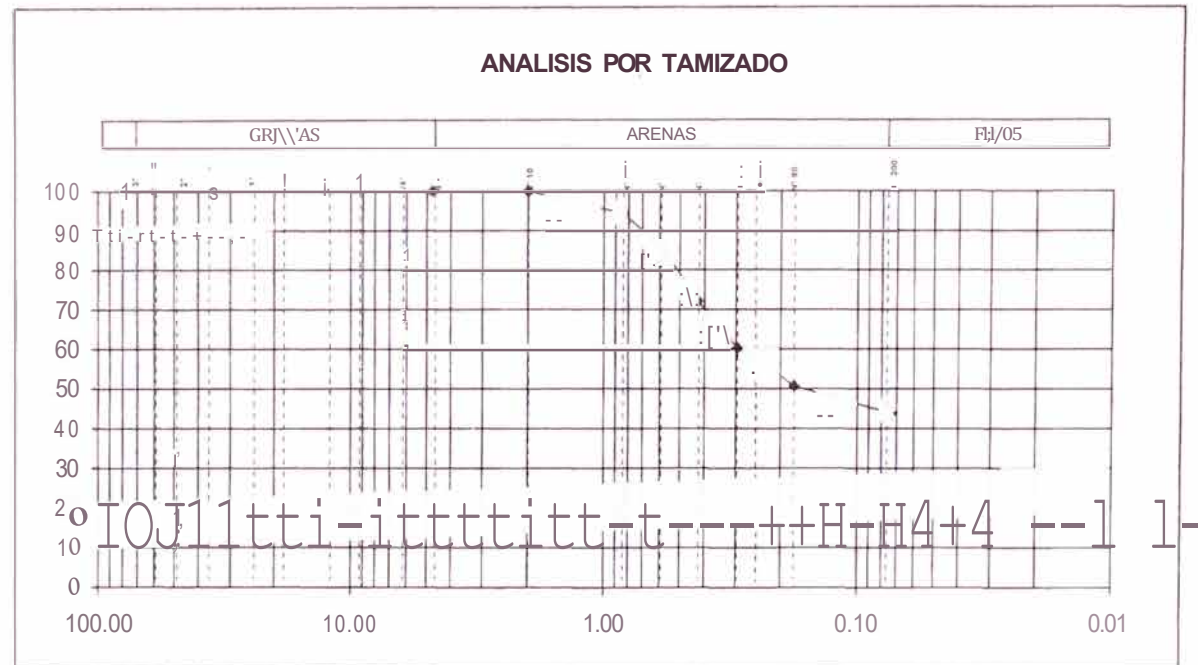
PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO: GRUPO 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 CALICATA: C-2 MUESTRA M-3 PROF (m) 1.03-1.17
 ING. RESP: ING. J. MARTINEZ TECNICO Y.F.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

PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

| | |
|---|---------|
| HUMEDAD NATURAL DE LA MUESTRA(%) | |
| PESO DE LA MUESTRA SECA (gr) | 250.100 |
| PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA (gr) | 140.550 |
| PESOS DE FINOS LAVADOS (gr) | 109.550 |

| | | | |
|--------|-------|--------|-------|
| Gravas | 0.00 | Gruesa | 0.00 |
| | | Fina | 0.00 |
| Arenas | 56.20 | Gruesa | 0.02 |
| | | Media | 27.87 |
| | | Fina | 28.31 |
| Finos | 43.80 | | |

| 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' < | 4.760 | | 100.00 |
| N' D | 2.000 | 0.05 | 99.98 |
| N' 20 | 0.840 | 14.20 | 94.30 |
| N' 30 | 0.590 | 21.40 | 85.75 |
| W40 | 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 < 0.075mm < 0.005mm | | | |
| Arcillas < 0.005mm | | | |
| Coles < 0.001mm | | | |





ANAI.1s1s GRANULOMETRICO POR-TAMizAoo-I

ASTM D 422

PROYECTO Meloramiento Estructural de Vias Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACION 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. IMAUK. C. L. FECHA Marzo 2007

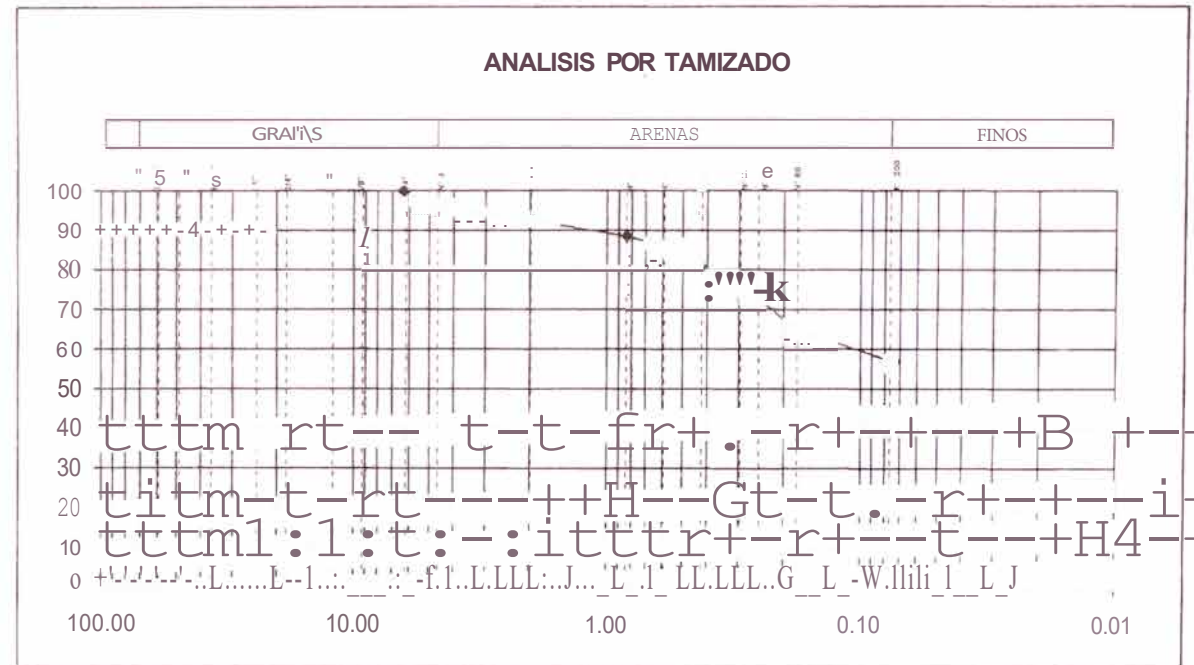
PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

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

| | |
|--------|--|
| | |
| 220000 | |
| 94.800 | |
| 12,200 | |

| | | | | |
|------|--------|-------|--------|-------|
| 0.60 | Gravas | 4.05 | Gruesa | 0.00 |
| 0.30 | | | Fina | 4.05 |
| D10 | Arenas | 39.05 | Gruesa | 3.32 |
| Cl | | | Media | 11.73 |
| Ce | Finos | 56.91 | Fina | 24.00 |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA(%) |
|----------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------|
| 3" | 76.200 | | |
| 2.5" | 63.500 | | |
| 2" | 50 | | |
| 1.5" | 38.100 | | |
| 1" | 25.400 | | |
| 3/4" | 19.050 | | |
| 1/2" | 12.700 | | |
| 3/8" | 9.525 | | |
| 1/4" | 6.350 | | 100.00 |
| N° 4 | 4.760 | 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 | 86.05 |
| N° 40 | 0.426 | 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 |
| rúND0 | | | |
| L,mos 0074mm-0 005mm | | | |
| Arcillas < 005mm | | | |
| Coirdes < 001 mm | | | |



IAN-Aiis1s GRANULOMETRICO POR TAMIZAÓÜ]

ASTM D 422

PROYECTO Meloramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO Grup o 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 CALICATA C - 3 MUESTRA M - 2 PROF. (m. 1) 0.34-0.70
 ING RESP ING J MARTINEZ TECNICO Y.F.A /M.A.I./K.C.L. FECHA Marzo 2007

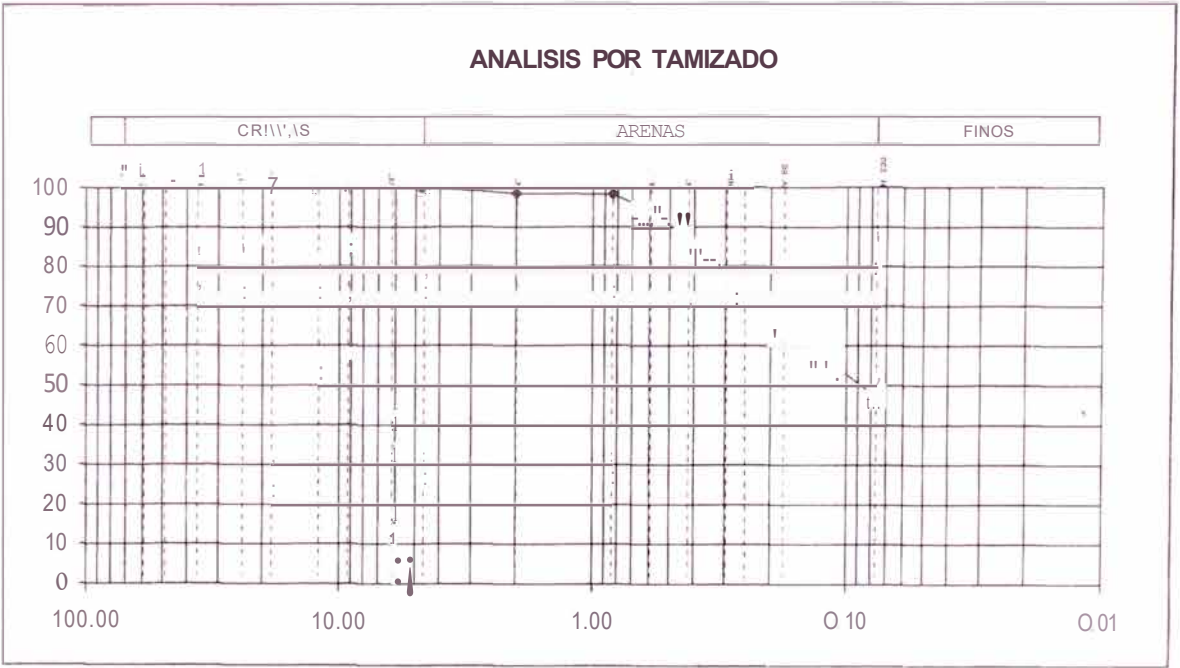
PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

HUMED'0 NATURAL DE LA MUESTRA(%)
 PESO DE LA MUESTRA SECA (gr) 250.000
 PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y S:CADA (11) 134.100
 PESOS DE FINOS LAVADOS (gr) 115.900

| | | | |
|--------|-------|--------|-------|
| Gravas | 0.00 | Gruesa | 0.00 |
| Arenas | 53.64 | Fina | 0.00 |
| Finos | 46.36 | Gruesa | 1.48 |
| | | Media | 10.88 |
| | | Fina | 41.28 |

D30
D10
Cu
Cc

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA(%) |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------|
| 3" | 76.200 | | |
| 2.12 | 63.500 | | |
| 2" | 50.800 | | |
| 1.5" | 38.100 | | |
| 1" | 25.400 | | |
| 3/4" | 19.000 | | |
| 1/2" | 12.700 | | |
| 3/8" | 9.525 | | |
| 1/4" | 6.350 | | |
| N° 4 | 4.760 | | 100.00 |
| N° 10 | 2.000 | 37.0 | 98.52 |
| N° 20 | 0.840 | 08.0 | 98.20 |
| N° 30 | 0.590 | 11.20 | 93.72 |
| N° 40 | 0.426 | 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 | 65.12 |
| N° 200 | 0.074 | 46.90 | 46.36 |
| "ONDO | | | |
| L,mos 0.074mm-0.005mm | | | |
| Arc,lla5 < 0.005mm | | | |
| Co'ordes < 0.001 mm | | | |





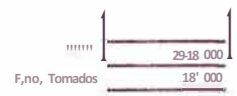
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO 1

ASTM D 422

PROYECTO: Mejaamiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO: Gru 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACION: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 CALICIA: C - J MUESTRA: M + J PROF (m): 0.70-1.00
 ING RESP: ING J MARTINEZ TECNICO YFA/MAL K C L EC<> Marzo 2007

PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

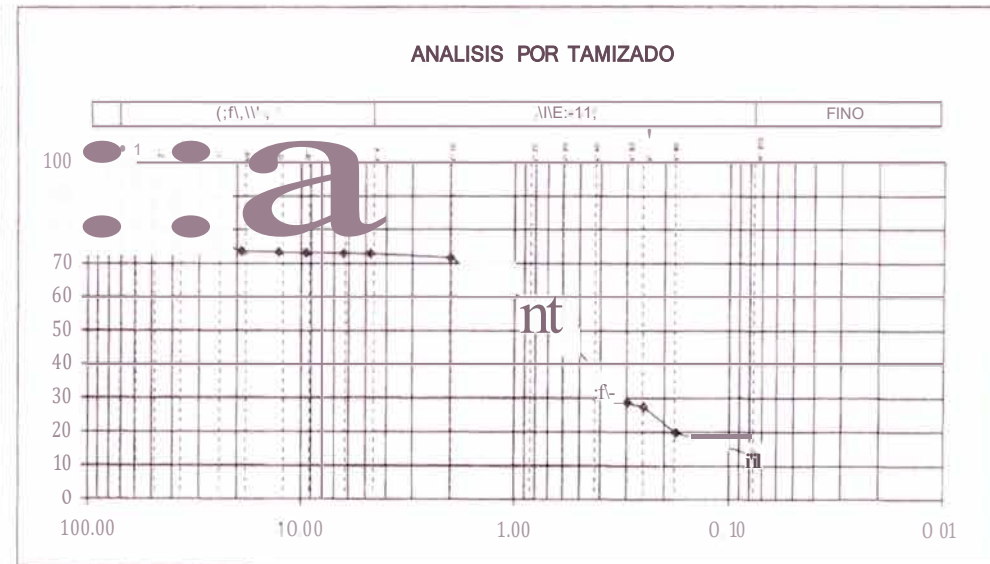
| | |
|---|----------|
| HUMEDAD NATURAL DE LA MUESTRA (%) | |
| PESO DE LA MUESTRA SECA (Q) | 5051.400 |
| PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA (gr) | 5152.421 |
| PESOS DE FINOS LAVADOS (gr) | 520.977 |



| | |
|-----|--------|
| D60 | 1.006 |
| D30 | 0.315 |
| D10 | 0.058 |
| Cu | 17.481 |
| Ce | 1.713 |

| | |
|--------|-------|
| Gruesa | 26.47 |
| Fina | 0.79 |
| Gruesa | 1.23 |
| Media | 3.308 |
| Fina | 25.57 |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA (%) |
|---------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------------------|
| J | 75.000 | | 100.00 |
| 20 | 0.850 | 42.01 | 98.95 |
| 40 | 0.425 | 22.70 | 98.40 |
| 60 | 0.250 | 510.70 | 85.80 |
| 75 | 0.200 | 384.90 | 76.31 |
| 100 | 0.150 | 112.80 | 73.53 |
| 150 | 0.100 | 12.60 | 73.21 |
| 200 | 0.075 | 7.90 | 71.02 |
| 250 | 0.060 | 7.40 | 72.84 |
| N 4 | 4.750 | 4.10 | 72.74 |
| N 10 | 2.000 | 49.67 | 71.51 |
| N 20 | 0.840 | 54.74 | 58.07 |
| N 40 | 0.425 | 370.10 | 48.94 |
| N 60 | 0.250 | 226.13 | 38.43 |
| N 100 | 0.150 | 397.34 | 28.62 |
| N 200 | 0.075 | 48.07 | 27.41 |
| N 400 | 0.177 | 312.42 | 19.73 |
| N 800 | 0.074 | 278.78 | 12.85 |
| FONDO | | 0.00 | |
| Limo < 0.075 mm | | | |
| Arcillas < 0.005 mm | | | |
| Cotoidos < 0.001 mm | | | |



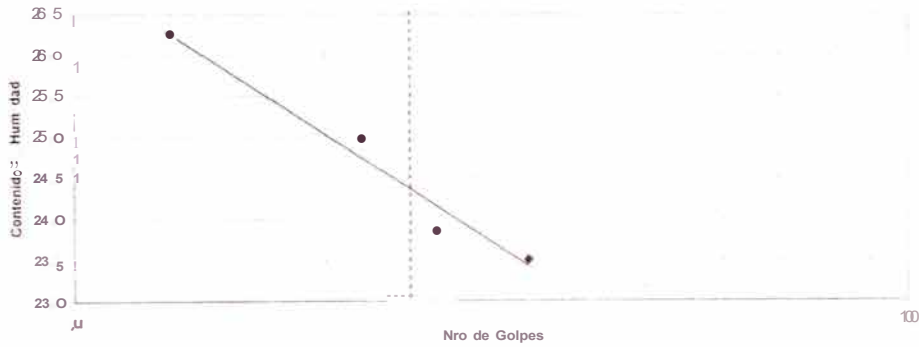


LIMITES DE ATTERBERG

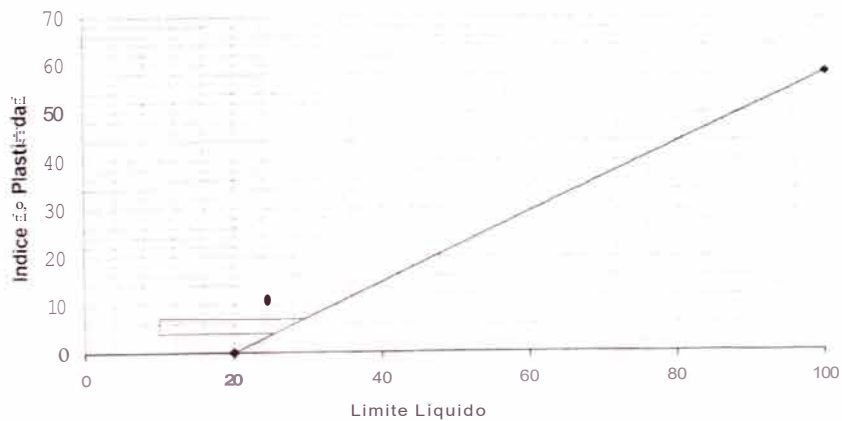
| | | | | | | | | | |
|------------------|--------------------------------|--|-------|-----------|---------------------------------|-------------------|------------|-----------|----------------|
| SOLICITANTE | | Grupo 6 • Curso de n1ulac16n 2006 - FIC | | | FECHA | | Marzo 2007 | | |
| PROYECTO: | | Mejoramiento Estructural de V.as Afirmdas con el S1slema Geoweb | | | | | | | |
| LOCALIZACION: | | Laboralono Nacional de Hidrauhca - Universidad Nacional de Ingeniena | | | | | | | |
| SONDAJE: | | C - 1 | | OPERADOR: | | Y F A M A L K C L | | | |
| MUESTRA: | | M - 1 | | PROF (m): | | O00-0 26 | | REVISADO: | ING J MARTINEZ |
| | | LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318) | | | LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318) | | | | |
| ENSAYO No | | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| CAPSULAN. | | 161 | 163 | 344 | 169 | 362 | 313 | | |
| NUMERO DE GOLPES | | | | 13 | 22 | 27 | 35 | | |
| 1 | PESO CAPSULA+ SUELO HJ MEDO | 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 65 | 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 | |

1P. = 8.79

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CARTA DE PLASTICIDAD



DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO: CL

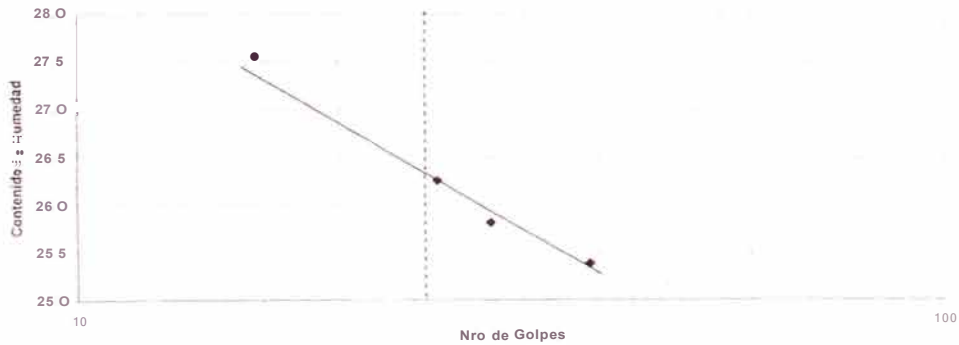


LIMITES DE ATTERBERG

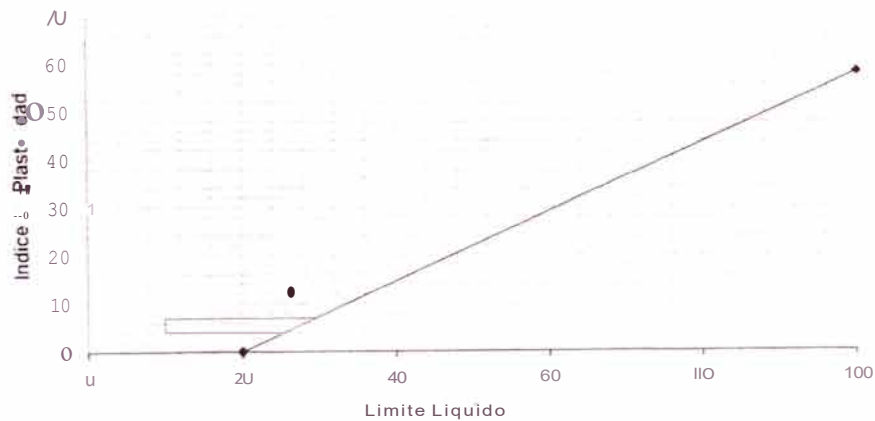
| | | | | | | | |
|---|--|-------------------------------|-------|--------------------------|------------------------------|-------|-------|
| SOLICITANTE: Grupo 6 - Curso de Hidráulica 1011 2006 - FIC | | | | FECHA: Marza L007 | | | |
| PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb | | | | | | | |
| LOCALIZACION: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería | | | | | | | |
| SONDAJE: C - 1 | | | | OPERADOR: YFA/MAL/KCL | | | |
| MUESTRA: M - 2 PROF (m) 0.26-0.91 | | | | REVISADO: ING J MARTINEZ | | | |
| | | LIMITE PLASTICO (ASTM 0-4318) | | | LIMITE LIQUIDO (ASTM 0-4318) | | |
| ENSAYO No | | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CAPSULAN. | | 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 (415° 100) | | 15.56 | 16.74 | 27.48 | 26.26 | 25.82 | 25.38 |
| | | L.P. = 16.15 | | | L.L. = 26.24 | | |

L.P. = 16.15 L.L. = 26.24

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CARTA DE PLASTICIDAD



DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO: CL



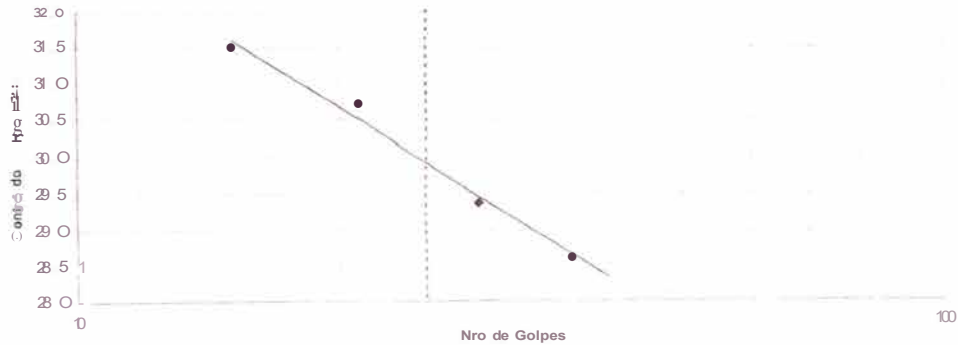
LIMITES DE ATTERBERG

| | | | | | | | |
|--------------|---|-----------|----------|----------|-------------------|--|--|
| SOLICITANTE | Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC | | | FECHA | Marzo 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 (mi) | O00-0 32 | REVISADO | ING J MARTINEZ | | |

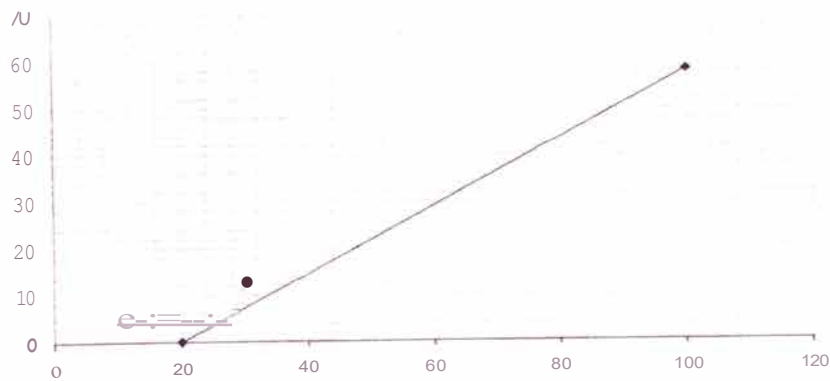
| ENSAYO No | LIMITE PLASTICO (ASTM 0--4318) | | LIMITE LIQUIDO (ASTM 0--4318) | | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CAPSULAN | 64 | 67 | 39 | 60 | 55 | 28 |
| NUMERO 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 | 1 05 | 3 09 | 2 94 | 2 54 |
| 5 PESO SUELO SECO (2-J) | 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. = 29.96 | | | |

I.P. = 10.55

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CARTA DE PLASTICIDAD



DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO: CL

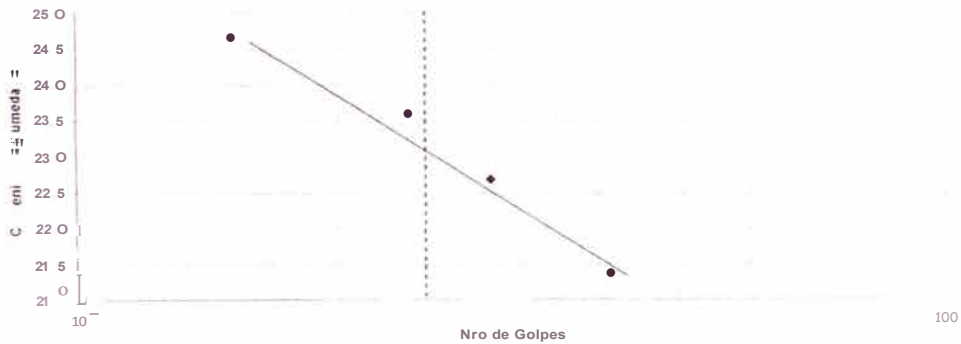


LIMITES DE ATTERBERG

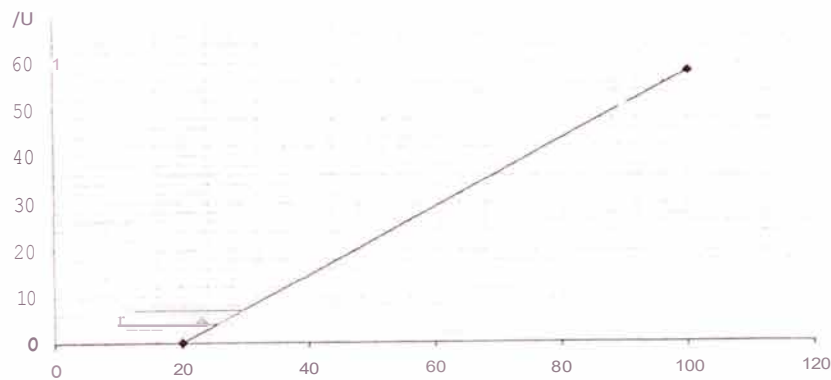
| | | | | | | | |
|---|--|-------------------------------|-------|------------------------------|-------|-------|-------|
| SOLICITANTE: Grupo 6 • Curso de Titulación 2006 • FIC | | FECHA: Marzo 2007 | | | | | |
| PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb | | | | | | | |
| 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 0-4318) | | LIMITE LIQUIDO (ASTM 0-4318) | | | |
| ENSAYO No | | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CAPSULAN | | 372 | 327 | 301 | 8 | 331 | 8 |
| 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 | | | |

It' = 5.40

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CARTA DE PLASTICIDAD



DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO: CL-ML



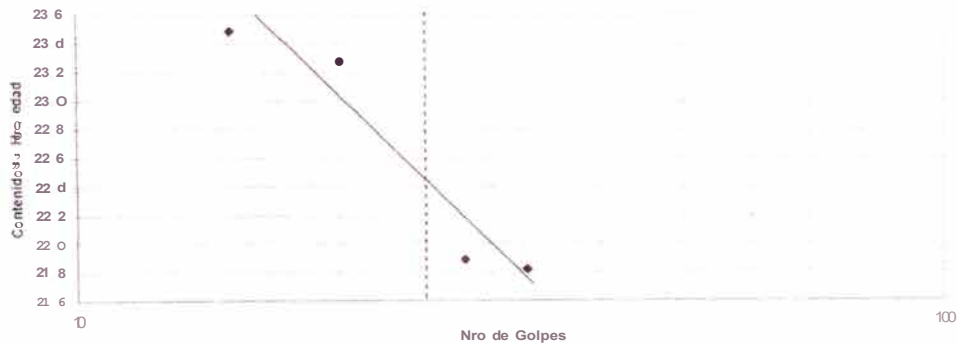
LIMITES DE ATTERBERG

| | | | |
|---------------|---|-----------|----------------------|
| SOLICITANTE: | Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC | FECHA: | Marzo 2007 |
| PROYECTO: | Mejoramiento Estructural de V,as Afirmadas con el Sistema Geoweb | | |
| LOCALIZACION: | Laboratorio Nacional de Hidraulica - Universidad Nacional de Ingeniería | | |
| SONDAJE: | C - 3 | OPERADOR: | Y.F.A./M.A.L./K.C.L. |
| MUESTRA: | M - 1 PROF (m) O00-0 34 | REVISADO: | ING. J. MARTINEZ |

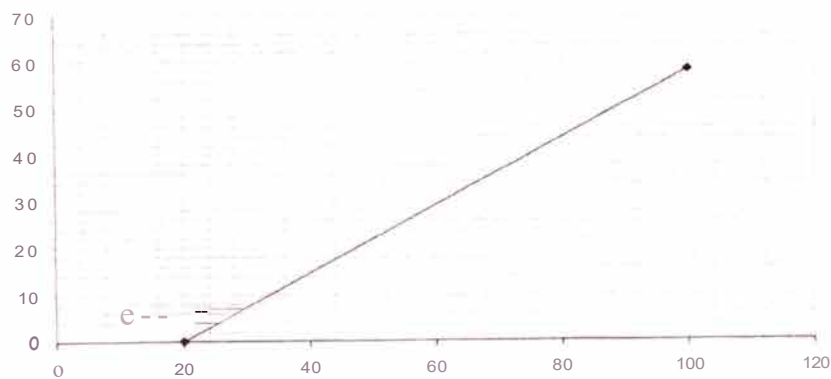
| ENSAYO No | LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318) | | LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318) | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|-------|---------------------------------|--------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CAPSULAN | 142 | 330 | 309 | 320 | 335 | 312 |
| 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 1415*100) | 1471 | 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



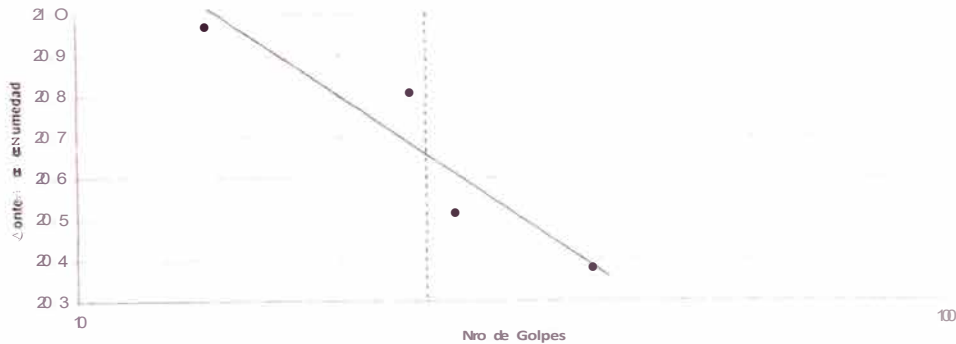
LIMITES DE ATTERBERG

| | | | |
|---------------|---|-----------|-------------------|
| SOLICITANTE: | Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 . FIC | FECHA: | MAYO 2007 |
| PROYECTO: | Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb | | |
| LOCALIZACION: | Laboratorio Nacional de Hidraulica - 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 |

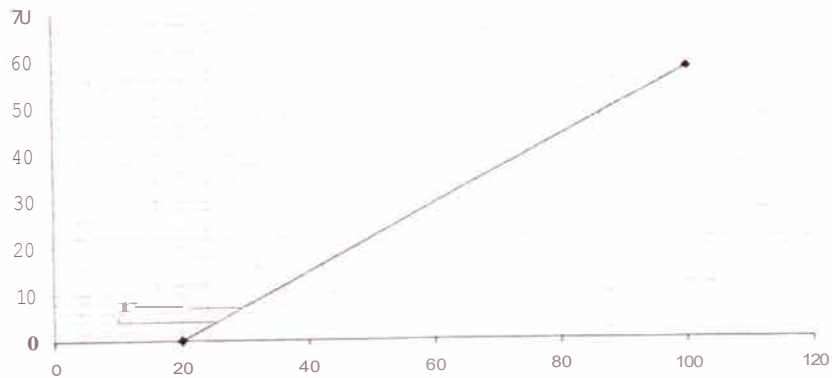
| ENSAYO No | LIMITE PLASTICO (ASTM 0-4318) | | LIMITE LIQUIDO (ASTM 0-4318) | | | |
|----------------------------------|-------------------------------|-------|------------------------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CAPSULAN | 361 | 315 | 310 | 377 | 317 | 356 |
| NUMERO 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 | 3.62 | 5.25 | 5.29 | 6.83 | 4.42 |
| 6 CONTENIDO DE HUMEDAD (4/5*100) | 10.79 | 14.20 | 20.95 | 20.79 | 20.90 | 20.36 |
| | L.P. = 12.50 | | L.L. = 20.65 | | | |

IP = 8.15

DIAGRAMA DE FLUIDEZ



CARTA DE PLASTICIDAD



DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO:

CL

ENSAYOS DE LABORATORIO SEGUNDA ETAPA

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

| RELACION HUMEDAD - DENSIDAD | | | | | | COMPACTACION - C. 8 R | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|--|--|
| Número de Capas : 5 | | | | | | Número de Capas : 5 | | | | | | | | |
| Método de Compactación: . A. ASTM O -15S7 - 78 | | | | | | ASTM D -1883 - 87 | | | | | | | | |
| VOL. MOLDE (cc) | 861,64 | 861,64 | 861,64 | 861,64 | 861,64 | 1898,68 | 1892,61 | 1892,61 | 1892,61 | 1696,68 | | | | |
| Nº Golpes | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 1J | 26 | 26 | 26 | 56 | | | | |
| Nº Molde | B | B | B | B | B | 2 | J | J | J | 1 | | | | |
| P. Suelo Hum. Molde (gfl) | J666 | J792 | J680 | J680 | J680 | 7476 | 7866 | 7866 | 7866 | 7668 | | | | |
| P. Molde lo 1 | 1746 | 1746 | 1746 | 1746 | 1746 | JS42 | 3640 | 3640 | 3640 | 3414 | | | | |
| P. suelo humedo (gr) | 1920 | 20<6 | 1934 | 1934 | 1934 | 39;; | 4226 | 4226 | 4226 | 4474 | | | | |
| Nº de recipiente | J21 | JJ9 | J58 | JO, | J24 | J29 | J39 | 329 | JO, | 358 | J21 | J24 | | |
| P. suelo hum+redolente(ar.) | 68.7 | 105.05 | 95.69 | 93.39 | 135.30 | 1312J | 86.08 | 87.98 | 105.44 | 101.77 | 106.17 | 96.0 | | |
| P. suelo seco+recipiente(ar.) | 84.01 | 99.88 | 68.24 | 85.64 | 120.00 | 118.48 | 80.00 | 81.50 | 97.80 | 94.30 | 98.29 | 68.60 | | |
| Peso de agua (ar.) | 4.46 | 5.17 | 7.45 | 7.45 | 15.30 | 14.75 | 6.08 | 6.48 | 7.84 | 7.47 | 7.88 | 7.24 | | |
| Peso de recipiente(ar.) | 10.63 | 11.91 | 11.49 | 11.23 | 10.22 | 10.34 | 11.91 | 10.34 | 11.23 | 11.49 | 10.83 | 10.22 | | |
| P. suelo seco (gr.) | 73.18 | 67.97 | 76.75 | 74.71 | 109.76 | 106.14 | 68.09 | 71.16 | 86.37 | 62.81 | 87.46 | 78.58 | | |
| Humedad (%) | 6.09 | 5.88 | 9.71 | 9.97 | 13.64 | 13.90 | 8.93 | 9.11 | 9.08 | 9.02 | 9.01 | 9.21 | | |
| Promedio de Humedad | 5.99 | | 9.84 | | 13.92 | | 9.02 | | 9.05 | | 9.11 | | | |
| Dens. Humeda (ar/ce) | 2.222 | | 2.388 | | 2.2J9 | | 2.072 | | 2.234 | | 2.356 | | | |
| Dens. seca (gr/ce) | 2.097 | | 2.156 | | 1.965 | | 1.901 | | 2.0<9 | | 2.160 | | | |

| CAP. DEL ANILLO: | | | | FAC. DEL ANILLO: 7.77 | | | |
|------------------|------------|---------|------------|-----------------------|------------|---------|--|
| WGolpes | 13 | 26 | 56 | | | | |
| Nº MOLDE | 2 | 3 | 1 | | | | |
| PENET | LECT. DIAL | CARGA 1 | LECT. DIAL | CARGA 2 | LECT. DIAL | CARGA 3 | |
| 0.025 | 1 | J | 1 | 3 | 4 | 10 | |
| 0.050 | 2 | 5 | 2 | 5 | 7 | 18 | |
| 0.075 | 3 | 8 | J | 8 | 10 | 26 | |
| O 100 | 4 | 10 | 5,5 | 14 | 14 | 38 | |
| 0.150 | 5 | 13 | 9,5 | 25 | 24 | 62 | |
| 0.200 | 7 | 18 | 14 | 38 | 33 | 85 | |
| 0.250 | 10 | 26 | 20 | 52 | 41 | 106 | |
| 0.298 | 13 | 34 | 30 | 78 | 49 | 127 | |
| 0.400 | 20 | 52 | 47 | 122 | 64 | 166 | |
| 0.500 | 30 | 78 | 68 | 176 | 77 | 199 | |
| 0.600 | 40 | 104 | 90 | 23J | 95 | 246 | |

| | | | | | | |
|------|----|------|----|------|----|------|
| 0.1- | 26 | 2.60 | 50 | 5.00 | 50 | 5.00 |
| 0.2- | 52 | 3.47 | 92 | 6.13 | 95 | 6.33 |

Proyecto: Mejoramiento Estructural de Vías Afirradas con el Sistema Geoweb
 Solicitado: Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 Ubicación: Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 Muestra: M - 1 (Estrato Supcr r)
 Ing. Resp: Ing. Jose Albeno Martínez Del Rosa, JO
 Técnico: Y.F.A.M.A.L.
 Revisado:
 Fecha: Marzo del 2007

| RESULTADOS | |
|-----------------------------|-------|
| MAX DENS. SECA (g/la): | 2.180 |
| OPT CONT DE HUM(%): | 9.00 |
| CBR. al 100% de la MDS (k/) | 50 |
| CBR. al 95% de la MDS (%) | |
| RETIE NE TAMIZ 3" o 2" (2%) | |
| RET TAMIZ 3/4" o N" 4" 1/2" | |
| PASA TAMIZ N" 200 (%) | 48.68 |
| CLAS. SUCS o AASTHO | SC |
| PESO ESPECIFICO (gr/ce) | |

| ABSORCION | | | |
|-----------------------------------|--|--|--|
| Peso Suelo Humedo+Molde (gr) | | | |
| Peso Molde (gr) | | | |
| Peso Suelo Hum. Embebido (Gr) | | | |
| Peso Suelo Hum. Sin Embebido (ar) | | | |
| Agua Absorbida (ce) | | | |
| Peso C: suelo seco (gr) | | | |
| Absorción(%) | | | |

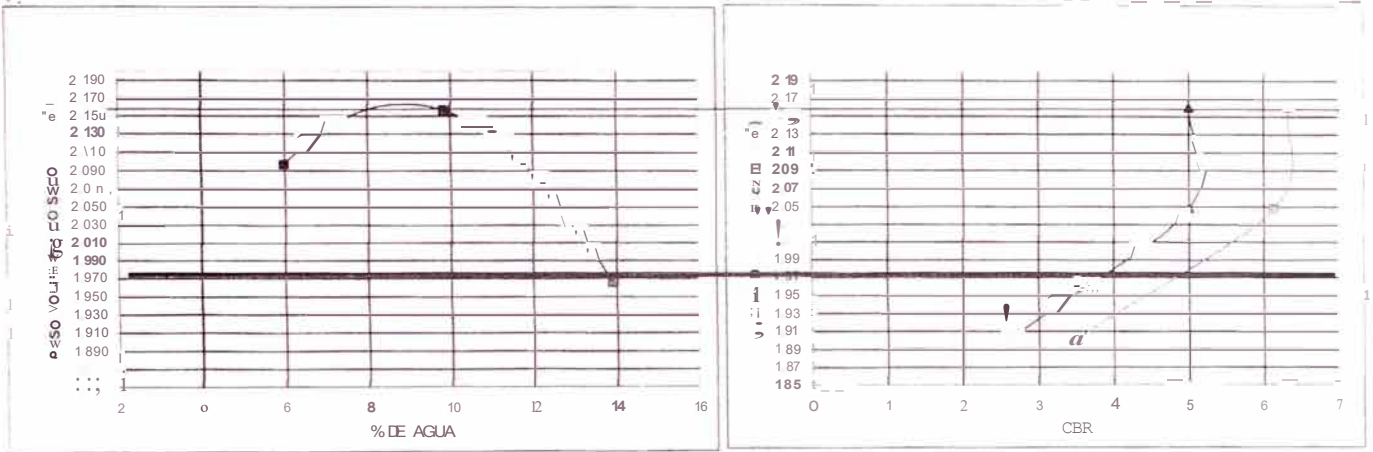
OBSERVACIONES:

| | | | |
|--------|-------|--------|-------|
| Gravas | 0.00 | Gruesa | 0.00 |
| | | Fina | 0.00 |
| Arenas | 51.52 | Gruesa | 46.1 |
| | | Medio | 6.66 |
| | | Fina | 38.06 |
| Finos | 48.68 | | |

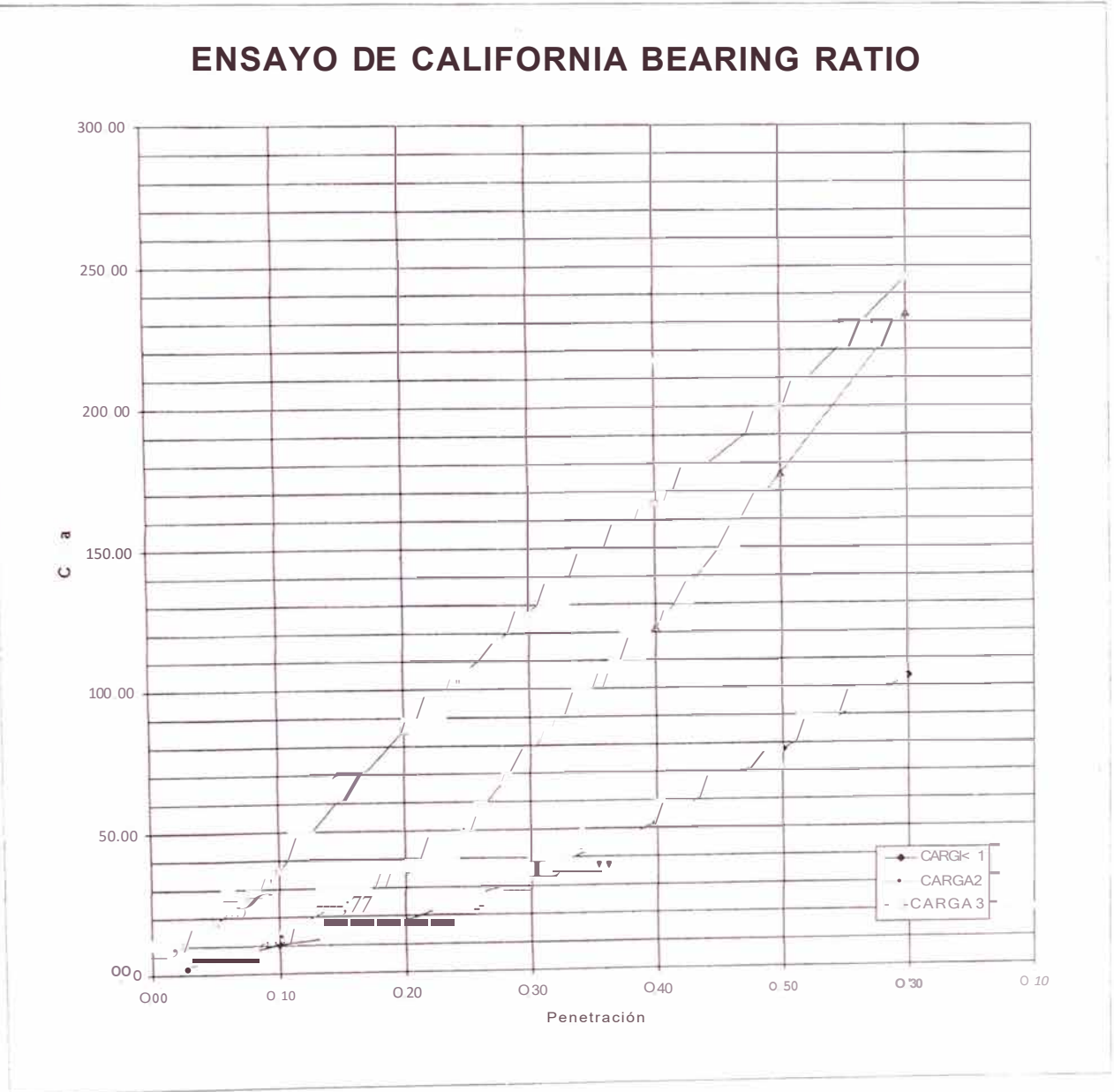
| FECHA | HORA | LO | LO | LO |
|----------|------|----|----|----|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| % OE EXP | | | | |

A TORIO NACIONAL DE HIDRAULICA A DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA

Mejoramiento Estructural de Vias Afirmadas con el Sistema Geoweb



ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO

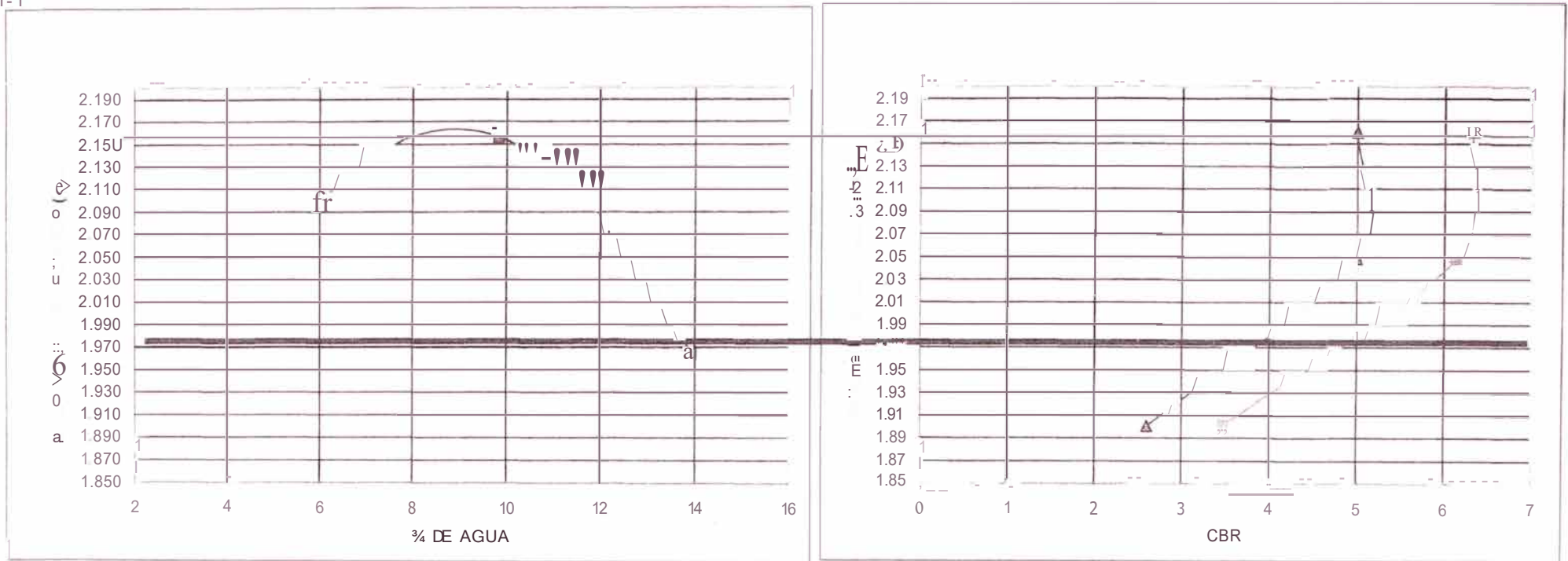


LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA

AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA

Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb

M-1





LABORATORIO GEOTECNICO

PROYECTO
SOLICITADO
UBICACION
HECHO POR

Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb
Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
MAL/K.C.L/Y.F.A

FECHA MARZO 2007

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D · 2216

MUESTRAS

| CALICATA | | Estrato Superior | | Estrato Intermedio | | |
|-----------------------------------|---------------|------------------|--|--------------------|--|--|
| MUESTRAN° | | M - 1 | | M - 2 | | |
| PROFUNDIDAD (m) | | | | | | |
| FRASCO No | | 364 | | 346 | | |
| 1. Peso recipiente + suelo húmedo | ors | 114.83 | | 104.33 | | |
| 2. Peso recipiente + suelo seco | grs | 113.11 | | 99.27 | | |
| 3. Peso de agua | (1) - (2) (K) | 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 | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|--|--|--|--|--|
| MUESTRAN° | | | | | | |
| 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 | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|--|--|--|--|--|
| MUESTRAN° | | | | | | |
| PROFUNDIDAD (m) | | | | | | |
| FRASCO No | | | | | | |
| 1. Peso recipiente + suelo húmedo | grs | | | | | |
| 2. Peso recipiente + suelo seco | grs | | | | | |
| 3. Peso de agua | (1) - (2) grs | | | | | |
| 4. Peso de recipiente | grs | | | | | |
| 5. Peso de suelo seco | (2) - (4) grs | | | | | |
| 6. Contenido de humedad | (3)/(5)*100 % | | | | | |

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

[ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO]

ASTM O 422

PROYECTO Meloramiento Estructural de Vias Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOUCITAOO Grup o 6 •Curso de Titulación 2006 •FIC
 UBICACION Laboratorio Nacional de Hidráulica • Universidad Nacional de Ingeniería
 CALICATA MUESTRA M • 1 / CBR PROF (m I)
 ING RESP ING J MARTINEZ TECNICO K C U M A L Y F A FECHA Marzo 2007

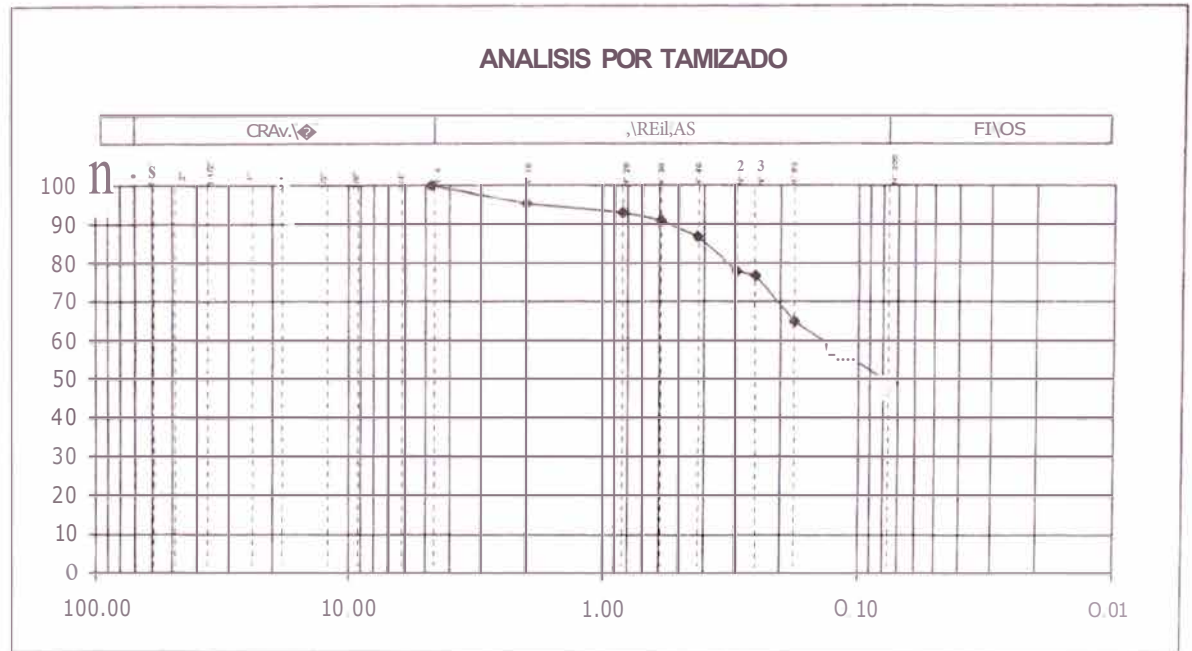
PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

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

| |
|---------|
| |
| 355.800 |
| 182.600 |
| 173.200 |

| | | | | |
|--------|--------|-------|--------|-------|
| D 60 m | Gravas | 0.00 | Gruesa | 0.00 |
| 030 | | | Fina | 0.00 |
| 010 | Arenas | 51.32 | Gruesa | 4.61 |
| Cu | | | Media | 8.66 |
| Ce | Finos | 48.68 | Fina | 38.06 |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA (%1) |
|-------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|
| 3- | 76.200 | | |
| 2 ui- | 63.500 | | |
| 2- | 50.800 | | |
| 1112" | 38.100 | | |
| 1- | 25.400 | | |
| 3/4" | 19.050 | | |
| 112" | 12.700 | | |
| 3/8" | 9.525 | | |
| 1/4" | 6.350 | | |
| N° 4 | 4.760 | | 100.00 |
| N° 10 | 2.000 | 16.40 | 95.39 |
| N° 20 | 0.840 | 8.20 | 93.09 |
| N° 30 | 0.590 | 7.50 | 90.98 |
| N° 40 | 0.426 | 15.10 | 86.73 |
| N° 50 | 0.297 | 31.10 | 77.99 |
| N° 60 | 0.250 | 4.10 | 76.84 |
| N° 80 | 0.177 | 42.40 | 64.92 |
| N° 200 | 0.074 | 57.80 | 48.68 |
| FONDO | | | 48.68 |
| Limos < 0.074mm-0.005mm | | | |
| Arcillas < 0.005mm | | | |
| Co10,des < 0.075mm | | | |



Av. Tupac Amaru Puerta N° 4
 Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería
 Tell (01) 481-1070 anexo 302 Cel 99912987 95242:iBB
 e-mail: lnhgeo@yahoo.com
lnh_uni@uni.edu.pe



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA
 AREA DE GEOTECNIA Y APLICACIONES HIDRÁULICAS

[ANA.us1s GRANULOMETRICO POR TAMIZADO 1

ASTM D 422

PROYECTO Meloramiento 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 MUESTRA M-2 / CBR PROF. (m.)
 ING RESP ING J MARTINEZ TECNICO K.C L.M A.UY.F.A FECHA Marzo 2007

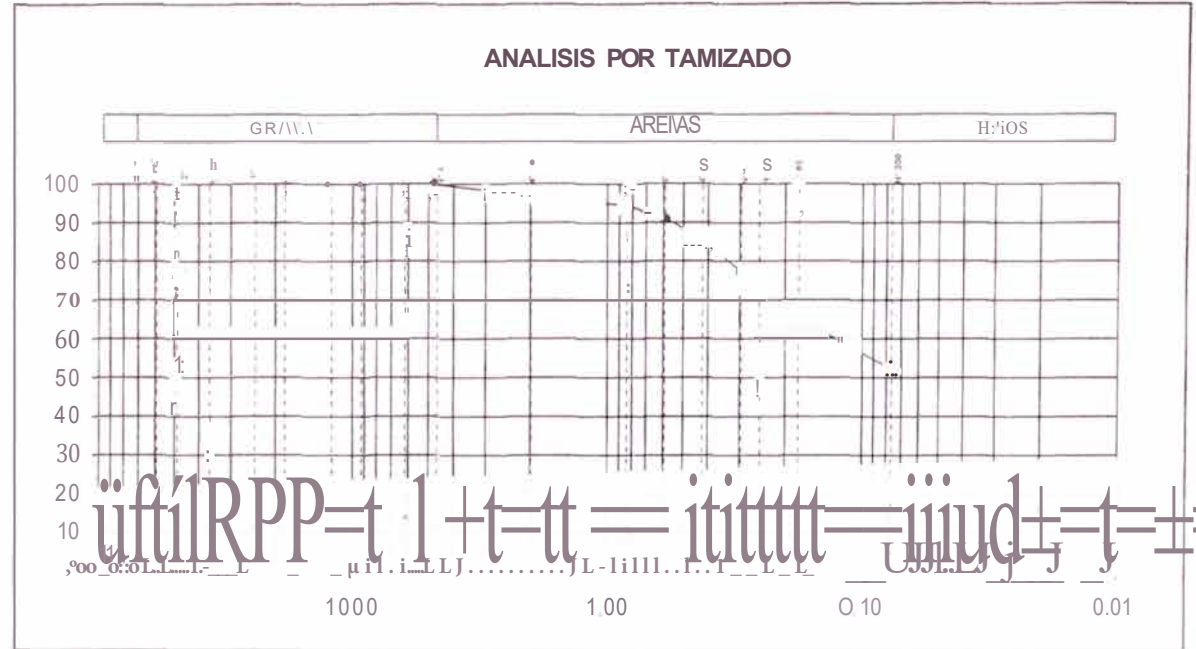
PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

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

| | |
|--|---------|
| | |
| | 255.800 |
| | 123.100 |
| | 132.700 |

| | | | | | |
|-----|---|--------|-------|--------|-------|
| D30 | - | Gravas | 0.00 | Gruesa | 0.00 |
| D10 | - | Arenas | 48.12 | Fina | 0.00 |
| Cu | - | | | Gruesa | 3.05 |
| Ce | - | | | Media | 11.06 |
| | | Finos | 51.88 | Fina | 34.01 |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (m.m.) | PESO RETENIDO (gr.) | PORCENTAJE ACUMULADO PASA (Y.) |
|-------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|
| 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 | 4.760 | | 100.00 |
| N° 10 | 2.000 | 7.80 | 96.95 |
| N° 20 | 0.840 | 6.60 | 94.37 |
| N° 30 | 0.590 | 8.20 | 91.16 |
| N° 40 | 0.426 | 13.50 | 85.89 |
| N° 50 | 0.297 | 22.10 | 77.25 |
| N° 60 | 0.250 | 4.60 | 75.45 |
| N° 80 | 0.177 | 26.80 | 64.97 |
| N° 200 | 0.074 | 33.0 | 51.88 |
| FONDO | | | 51.88 |
| Limos < 0.074mm-0.005mm | | | |
| Arcillas < 0.005mm | | | |
| Coloides < 0.001mm | | | |



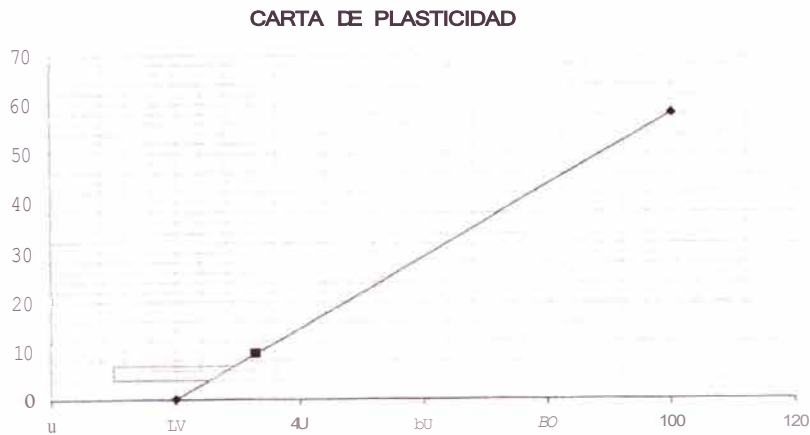
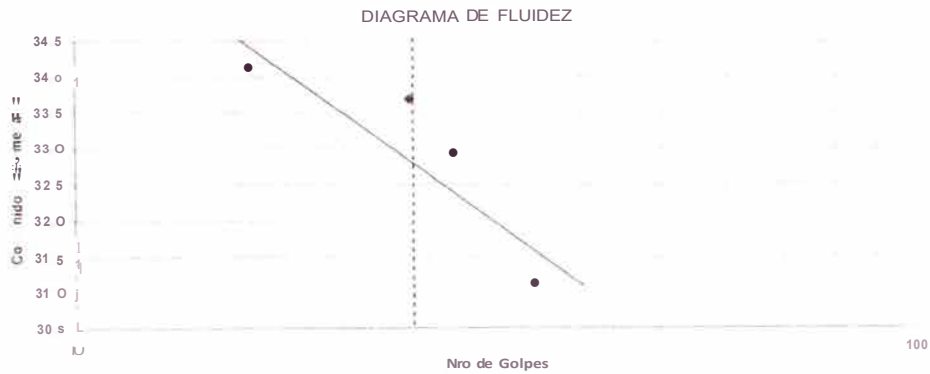


LIMITES DE ATTERBERG

| | | | |
|--------------|--|----------|-----------------|
| SOLICITANTE | Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC | FECHA | MARZO 2007 |
| PROYECTO | Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geow | ENSAYO | |
| LOCALIZACION | Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingen | OPERADOR | MAL / KCL |
| SONDAJE | | REVISADO | ING. J. MARINIZ |
| MUESTRA | M - 1 / CBR | | |

| ENSAYO No | LIMITE PLASTICO (ASTM 0-4318) | | LIMITE LIQUIDO (ASTM 0-4318) | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CAPSULAN. | 374 | 367 | 306 | 352 | 311 | 336 |
| NUMERO DE GOLPES | | | 16 | 27 | 26 | 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 C4/5'100I | 23.67 | 23.14 | 34.03 | 33.68 | 32.83 | 31.02 |
| | L.P. = 23.40 | | L.L. = 32.89 | | | |

I.P. = 9.49



DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO: CL



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA
 AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA

Y.C.!!1j
 1j

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

Proyecto :
Solicitado:
Ubicacion:
Fecha: MARZO 2007

| CALICATA | | Estrato Superior | Estrato Intermedio | | | | |
|----------------|--|------------------|--------------------|--|--|--|--|
| MUESTRA | | M-1 | M-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 | G _s (3)1(6) gr/cc | 27 | 27 | | | | |



LABORATORIO GEOTECNICO

PROYECTO : Aplicación de Geosintéticos en Obras de Ingeniería Civil
 SOLICITADO : Grupos 3, 4 y 6
 UBICACIÓN : Poza Experimental - Laboratorio Nacional de Hidráulica - UNI
 HECHO POR : Y.F.A. FECHA : Abril 2007

DENSIDAD DE CAMPO
 ANILLO

| MUESTRAS | GRUPO 3 | GRUPO 4 | GRUPO 6 |
|----------------------------------|---------------------|---------|---------|
| CALICATA | | | |
| MUESTRAN° | M-1 | M-1 | M-1 |
| PROFUNDIDAD (m) | | | |
| FRASCO No | 14 | 161 | 348 |
| 1 Peso recipiente + suelo húmedo | gs 143 40 | 129 38 | 108 89 |
| 2 Peso recipiente + suelo seco | gs 123 10 | 106 40 | 83 70 |
| 3 Peso de agua | (1)-(2) gs 20 30 | 22 98 | 25 19 |
| 4 Peso de recipiente | gs 15 72 | 10 94 | 12 93 |
| 5 Peso de suelo seco | (2)-(4) gs 107 38 | 95 46 | 70 77 |
| 6 Contenido de humedad | (3)/(5) 100 % 18 90 | 24 07 | 35 59 |
| 7 Volumen del anillo | ce 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 |

ENSAYO DE C.B.R

COMPACTACION - C.B.R

Número de Capas: 5

ASTM D - 1533 - 87

| |
|--------|
| 1822 g |
| 3 |
| 700 |
| 35-0 |
| *** |

FAC DEL ANILLO 771

| ANILLO | LECT DIAL | CARGA 2 |
|--------|-----------|---------|
| 0.025 | 0.5 | 1 |
| 0.050 | 1.1 | 2 |
| 0.075 | 1.5 | 3 |
| 0.100 | 2.1 | 4 |
| 0.150 | 3.0 | 5 |
| 0.200 | 3.9 | 6 |
| 0.250 | 4.9 | 7 |
| 0.298 | 5.1 | 8 |
| 0.300 | 5.1 | 9 |
| 0.350 | 5.5 | 10 |
| 0.400 | 5.8 | 11 |
| 0.450 | 6.1 | 12 |
| 0.500 | 6.3 | 13 |
| 0.550 | 6.5 | 14 |
| 0.600 | 6.5 | 15 |

a

PT-ovedo
 Proestall'o
 l)W,c,on
 Muo 1,o
 Ip R u p
 Toar lco
 Rctgl'to
 14-11

V.a.o. Ininto Est'UClu' de V i u Munt'Jooi con el SIII'fia 0.0,.,oo
 Gr 6 Cu, 100-111, Jly O' 2006 - FIC
 _obor 1,of10 _j @ 1'003,0(C)- unj'ws,ldd Nacemil co tr.gen.at-1
 SUELO PII:::PARAGO CE POZA UPERI- JENTAL
 Et. Jo H Alb'to MOlr:11: Dal Ro lono
 V F A J MAL
 f.SRL 200

RESULTADOS

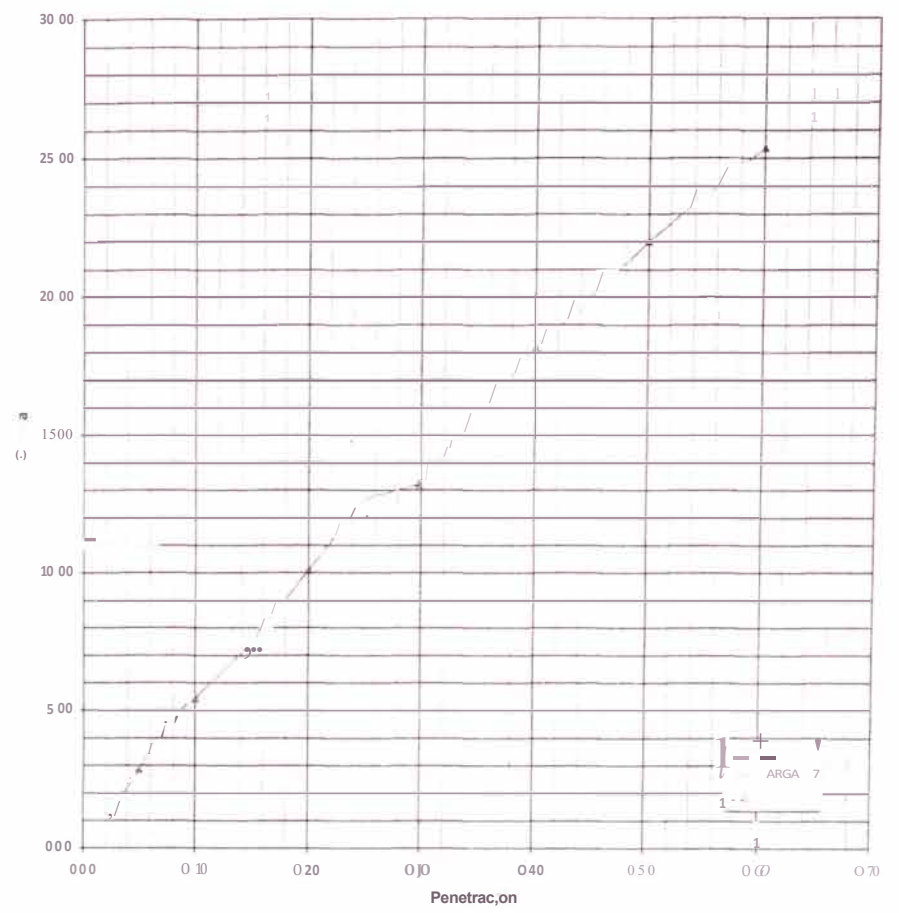
| | |
|-------------------------|-----|
| GEN SECA PROMEO | |
| CO-IT OER1Jf, r _j | |
| CBR d 100 lcs-1oMDSI'-1 | 0.1 |
| CBR 95, d b 10S I, l | 0.1 |

| |
|----------|
| G, vo, 1 |
| Gruto |
| H-BOS |

UOLW1 orie Estruct'fol du Vo, fr,1,....Jo, con 11 Ssem.: GeoW1b
 sue_o PREPARADO DE POLA L,P;RIMENT fii
 IEC1UQA50E. P?ESIOH

| | | | |
|-----------|-------|--------------------|-----------|
| 10011:405 | 0.000 | DEN SEC, CUIR O 7' | CUIR O 7' |
| 95_ T,US | 0.000 | 0000 000 | 0 1) |
| | | 0000 0.0 | 0 0 |
| | | 0000 0 | 0 0 |

ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO



ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE INCONFINADA

| | | | | | |
|------------------------------|----------|--|------------|--|------------|
| SOLICITADO : Grupo NG | | PROYECTO : Mejoramiento Estructural de Vías Afirmada con el Sistema Coowe | | UBICACIÓN : Poza Exponencial - Laboratorio Nacional de Hidráulica 1. Universidad Nacional de Ingeniería | |
| SONDAJE | Grup. 06 | PROF. | | FECHA | Abril 2007 |
| MUESTRA | A | ESTADO | INALTERADO | ENSAYO N° | 1 |

| | |
|--------------------------------|------|
| Clc de anillo de carga = | 6010 |
| Clc de anillo de deformación = | 1000 |

PROPIEDADES FISICAS DEL ESPECIMEN

| LIMITES DE CONSISTENCIA | | | |
|-------------------------|------|--------|-------|
| LL = | 2030 | 11 P = | 12.56 |
| LP = | 774 | ICH = | |

| GRANULOMETRIA | CLASIFICACION SUCS |
|---------------|--------------------|
| GRAVA 1-4.75 | CL |
| ARENA 4.75-75 | |
| FINOS 75-2000 | |

| DENSIDADES (kg/cm ³) | | | |
|----------------------------------|--|--------------------|--|
| n = | | γ _{máx} = | |
| γ _s = | | γ _{inh} = | |

DATOS DEL ESPECIMEN AL INICIO DE LA PRUEBA

Dimensiones: JQRu

hs = § As = §
 he = § Ac = §
 ht = § At = §

l_{lm}(mm) = 70 J Am (cm²) = 9.62

V_i (cm³) = 67.34 V_m (gl/ccr) = 1.780

DATOS DEL ESPECIMEN AL FINAL DE LA PRUEBA

Dimensiones: JQRu

hs = § As = § W1(g) = 132.50
 he = § Ac = § V_i (cm³) = 62.54
 ht = § A = § γ_m (g/cm³) = 2.119

h_m (mm) = 65 J Am (cm²) = 9.62

| Lectura en el dial de deformación | Lectura en el dial de deformación | deformación total | deformación uniaxial | 1-h | Área corregida | Lectura en el dial de carga | Fuerza axial aplicada | Esfuerzo |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------------|--------|----------------|-----------------------------|-----------------------|----------|
| | | | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 9.62 | 0.0 | 0.0 | 0.000 |
| 3.50 | 0.01 | 0.035 | 0.005 | 0.995 | 9.63 | 1.0 | 0.19 | 0.020 |
| 1.00 | 0.03 | 0.070 | 0.010 | 0.990 | 9.63 | 3.2 | 0.19 | 0.020 |
| 1.50 | 0.04 | 0.105 | 0.015 | 0.985 | 9.64 | 7.2 | 0.38 | 0.039 |
| 7.50 | 0.07 | 0.175 | 0.025 | 0.975 | 9.64 | 23.5 | 0.51 | 0.059 |
| 21.50 | 0.10 | 0.245 | 0.035 | 0.965 | 9.65 | 43.0 | 0.94 | 0.098 |
| 35.00 | 0.14 | 0.350 | 0.050 | 0.950 | 9.67 | 48.0 | 1.89 | 0.195 |
| 52.50 | 0.21 | 0.525 | 0.075 | 0.925 | 9.69 | 70 | 3.77 | 0.389 |
| 70.00 | 0.26 | 0.700 | 0.100 | 0.900 | 9.72 | 11.6 | 5.66 | 0.582 |
| 87.50 | 0.34 | 0.875 | 0.125 | 0.875 | 9.74 | 16.5 | 1.36 | 0.755 |
| 105.00 | 0.41 | 1.050 | 0.150 | 0.850 | 9.77 | 21.8 | 9.01 | 0.927 |
| 122.50 | 0.48 | 1.225 | 0.175 | 0.825 | 9.79 | 28.6 | 9.81 | 1.002 |
| 140.00 | 0.55 | 1.400 | 0.200 | 0.800 | 9.82 | 35.0 | 11.27 | 1.148 |
| 157.50 | 0.62 | 1.575 | 0.225 | 0.775 | 9.84 | 40.4 | 12.55 | 1.275 |
| 175.00 | 0.00 | 1.750 | 0.250 | 0.9750 | 9.87 | 46.0 | 13.45 | 1.364 |
| 192.50 | 0.06 | 1.925 | 0.275 | 0.9725 | 9.89 | 50.8 | 15.55 | 1.470 |
| 210.00 | 0.03 | 2.100 | 0.300 | 0.9700 | 9.92 | 54.8 | 15.09 | 1.522 |
| 227.50 | 0.09 | 2.275 | 0.325 | 0.9675 | 9.94 | 56.2 | 15.64 | 1.572 |
| 245.00 | 0.06 | 2.450 | 0.350 | 0.9650 | 9.97 | 56.4 | 15.82 | 1.581 |
| 262.50 | 0.10 | 2.625 | 0.375 | 0.9625 | 10.00 | 54.2 | 15.09 | 1.510 |
| 280.00 | 0.11 | 2.800 | 0.400 | 0.9600 | 10.02 | 52.0 | 14.55 | 1.451 |
| 297.50 | 0.17 | 2.975 | 0.425 | 0.9575 | 10.05 | 43.0 | 11.27 | 1.122 |
| 315.00 | 0.12 | 3.150 | 0.450 | 0.9550 | 10.07 | 38.0 | 9.43 | 0.936 |
| 332.50 | 0.18 | 3.325 | 0.475 | 0.9525 | 10.10 | 35.0 | 7.55 | 0.747 |
| 350.00 | 0.18 | 3.500 | 0.500 | 0.9500 | 10.13 | 33.8 | 5.66 | 0.559 |
| 367.50 | 0.12 | 3.675 | 0.550 | 0.9450 | 10.18 | 29.0 | 3.77 | 0.371 |
| 420.00 | 0.16 | 4.200 | 0.600 | 0.9400 | 10.23 | 25.8 | 2.83 | 0.277 |
| 455.00 | 0.19 | 4.550 | 0.650 | 0.9350 | 10.29 | 23.0 | 2.08 | 0.202 |
| 490.00 | 0.18 | 4.900 | 0.700 | 0.9300 | 10.34 | 21.0 | 1.70 | 0.164 |
| 560.00 | 0.22 | 5.600 | 0.800 | 0.9200 | 10.46 | 20.0 | 0.94 | 0.090 |
| 610.00 | 0.24 | 6.100 | 0.900 | 0.9100 | 10.57 | 17.0 | 0.94 | 0.089 |
| 700.00 | 0.26 | 7.000 | 1.000 | 0.9000 | 10.69 | 12.0 | 0.94 | 0.088 |
| 770.00 | 0.30 | 7.700 | 1.100 | 0.8900 | 10.81 | 6.0 | 0.94 | 0.087 |
| 840.00 | 0.31 | 8.400 | 1.200 | 0.8800 | 10.93 | 3.0 | 0.94 | 0.086 |
| 910.00 | 0.31 | 9.100 | 1.300 | 0.8700 | 11.05 | 2.0 | 0.75 | 0.066 |
| 960.00 | 0.36 | 9.800 | 1.400 | 0.8600 | 11.19 | 1.0 | 0.57 | 0.051 |
| 1050.00 | 0.413 | 10.500 | 1.500 | 0.8500 | 11.32 | 1.0 | 0.38 | 0.033 |

Contenido de humedad de la muestra

| | |
|--------------------|--------|
| Tara N° | 35 |
| Peso de tara + sh | 119.88 |
| Peso de tara + ss | 107.8 |
| Peso de agua | 12.7 |
| Peso de tara | 0 |
| Peso de suelo seco | 107.8 |
| Cont. de Humedad | 11.85 |

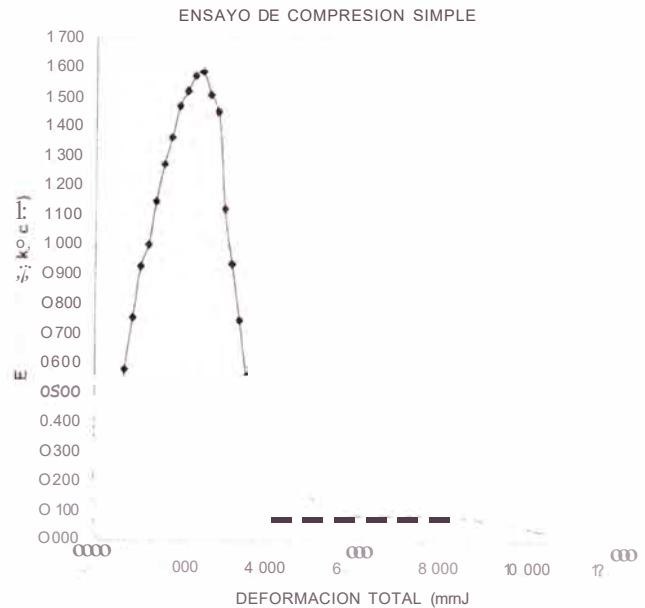
Esfuerzo ultimate

13.1

Es del sitio

e (Inclinación)

0.7935





LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA



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.FA/MAL./K.C.L. FECHA: 25 de Abril del 2007

DENSIDAD DE CAMPO ANILLO

MUESTRAS

| CALICATA | | Subrasante | Subrasante | Subrasante | | | | | |
|----------------------------------|---------------|------------|------------|------------|--|--|--|--|--|
| MUESTRAS | | M-1 | M-2 | M-3 | | | | | |
| PROFUNDIDAD (m) | | | | | | | | | |
| FRASCO No | | 307 | 339 | 343 | | | | | |
| 1 Peso recipiente + suelo húmedo | grs | 14609 | 125 74 | 128 88 | | | | | |
| 2 Peso recipiente + suelo seco | grs | 12285 | 104 17 | 109 82 | | | | | |
| 3 Peso de agua | (1) - (2) grs | 23 24 | 21 57 | 1906 | | | | | |
| 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 % | 2114 | 23 64 | 19 67 | | | | | |
| 7 Volumen del anillo | ce | 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 3 | 1 99 | 2 05 | | | | | |



LABORATORIO GEOTECNICO

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
 HECHO POR: Y.F.A./I.F.A.N./A.CH.O. FECHA: Abril 2007

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D - 2216

!MUESTRAS

| | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|------------|--|--|--|--|
| CALICATA | | Material | | | | |
| MUESTRAN° | | Subrasante | | | | |
| PROFUNDIDAD (m) | | | | | | |
| FRASCO No | | 343 | | | | |
| 1. Peso recipiente + suelo húmedo | grs | 143.61 | | | | |
| 2. Peso recipiente + suelo seco | gn: | 134.40 | | | | |
| 3. Peso de agua | (1)-(2) grs | 9.21 | | | | |
| 4. Peso de recipiente | grs | 11.75 | | | | |
| 5. Peso de suelo seco | (2) -(4) ars | 122.65 | | | | |
| 6. Contenido de humedad | (3)/(5)*100 % | 7.51 | | | | |

!MUESTRAS

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

!MUESTRAS

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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO 1

ASTM D 422

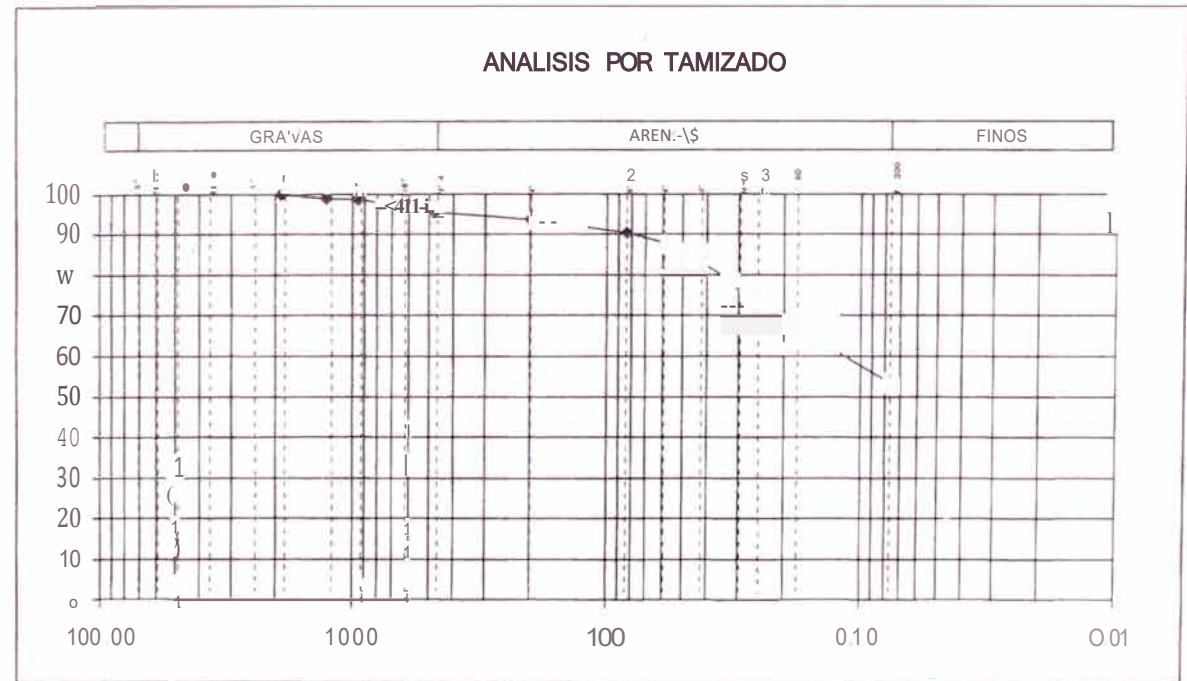
PROYECTO Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
 UBICACIÓN Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
 CALICATA ----- MUESTRA Subrasante PROF (m) -----
 ING RESP ING J. MARTINEZ TECNICO F.A.J.L.f.A.N.IA.CH FECHA Abril 2007

PARAMETROS DE GRANULOMETRIA

| | |
|---|---------|
| HUMEDAD NATURAL DE LA MUESTRA(%) | 7.509 |
| PESO DE LA MUESTRA SECA (gr) | 532.800 |
| PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA (gr) | 251.600 |
| PESOS DE FINOS LAVADOS (gr) | 281.200 |

| | | | | |
|------|--------|-------|--------|-------|
| 0.60 | Gravas | 4.43 | Gruesa | 0.00 |
| 0.30 | | | Fina | 4.43 |
| 0.10 | Arenas | 42.79 | Gruesa | 1.80 |
| Cu | | | Media | 10.44 |
| Ce | | | Fina | 30.56 |
| | Finos | 52.78 | | |

| TAMICES ASTM | DESCRIPCION ABERTURA (mm.) | 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 | | 100.00 |
| 1/2" | 12.700 | 5.20 | 99.02 |
| 3/8" | 9.525 | 1.60 | 98.72 |
| 1/4" | 6.350 | 8.60 | 97.11 |
| N° 4 | 4.760 | 8.20 | 95.57 |
| N° 10 | 2.000 | 9.60 | 93.77 |
| N° 20 | 0.840 | 17.80 | 90.43 |
| N° 30 | 0.590 | 13.40 | 87.91 |
| N° 40 | 0.426 | 24.40 | 83.33 |
| N° 50 | 0.297 | 33.40 | 77.06 |
| N° 60 | 0.250 | 7.40 | 75.68 |
| N° 80 | 0.177 | 48.20 | 66.63 |
| N° 200 | 0.074 | 73.80 | 52.78 |
| FONDO | | | |
| Limos < 0.074mm | | | |
| Arcillas < 0.005mm | | | |
| Coloides < 0.001mm | | | |



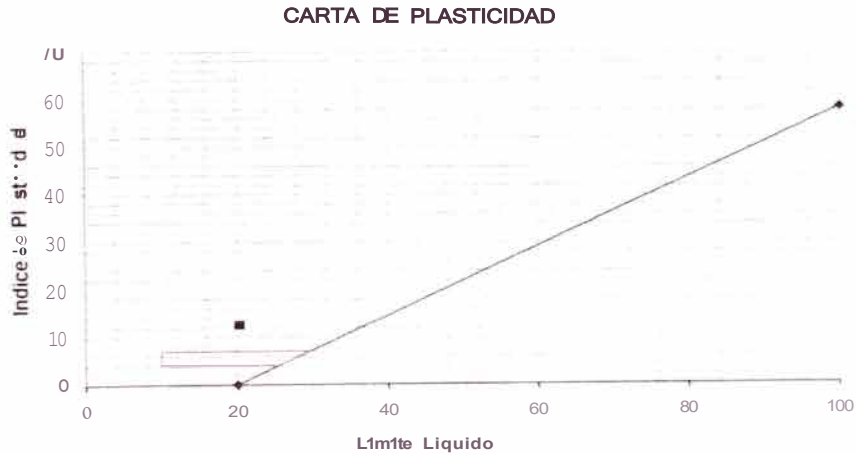


LIMITES DE ATTERBERG

| | | | |
|--------------|---|----------|-----------------------|
| SOLICITANTE | Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC | FECHA | AOn1 2007 |
| PROYECTO | Mejoram1ento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geow | ENSAYO | - |
| LOCALIZACION | Laboratono Nacional de Hodrauhca • Universidad Nacional de Inge | OPERADOR | Y F A / M A L / K C L |
| SONDAJE | C - 1 | REVISADO | ING J MARI INEZ |
| MUESTRA | M - 1 | PROF (m) | 0.00-1 30 |

| | | LIMITE PLASTICO (ASTM D-4318) | | LIMITE LIQUIDO (ASTM D-4318) | | | |
|---|---------------------------------|----------------------------------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | ENSAYO No | | | | | | |
| | CAPSULAN | 320 | 327 | 383 | 306 | 322 | 317 |
| | NUMERO DE GOLPES | | | 20 | 25 | 30 | 41 |
| 1 | PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO | 12 60 | 15 00 | 18 40 | 18 30 | 20 10 | 20 00 |
| 2 | PESO CAPSULA+ SUELO SECO | 12 40 | 14 75 | 17 00 | 17 00 | 18 65 | 18 70 |
| 3 | PESO CAPSULA | 9 84 | 11 49 | 11 05 | 10 75 | 11 26 | 11 17 |
| 4 | PESO AGUA (1-2) | 0 20 | 0 25 | 1 40 | 1 30 | 1 45 | 1 30 |
| 5 | PESO SUELO SECO (2-3) | 2 56 | 3 26 | 5 95 | 6 25 | 7 39 | 7 53 |
| 6 | CONTENIDO DE HUMEDAD (415° 100) | 7 81 | 7 67 | 23 53 | 20 80 | 19 62 | 17 26 |
| | | L.P. = 7.74 | | L.L. = 20.30 | | | |

1.P.= 12.56



DESCRIPCION DEL MATERIAL FINO: CL



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

PROYECTO : Mejoramiento Estructural de Vias Afirmadas con el Sistema Geoweb
SOLICITADO : Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC
UBICACION : Laboratorio Nacional de Hidráulica - Universidad Nacional de Ingeniería
HECHO POR : Y.F.A./L.F.A.N./A.CH.O FECHA: Abril del 2007

| | | | | | |
|--------|---------|----------|--------|-------|---|
| Wmolde | 1740.00 | Diámetro | 10.23 | Molde | B |
| Wbase | 2264.00 | Altura | 11.01 | | |
| Wm+b | 4004.00 | Volumen | 904.96 | | |

| | | | | | | | | | |
|--------------------|---|-------------------|---|--|--|--|--|--|--|
| CALICATA | 1 | Material | 1 | | | | | | |
| MUESTRA | 1 | Subrasante | 1 | | | | | | |
| MINIMAS | | | | | | | | | |
| Ws+m+b (1) | 1 | 5646.00 | 1 | | | | | | |
| MAXIMAS | | | | | | | | | |
| Ws+m+b (1) | 1 | 6120.00 | 1 | | | | | | |
| Dminima (1) | | 1.81 | | | | | | | |
| Dmaxima (1) | | 2.34 | | | | | | | |
| DENS MINIMA | | 1.81 | | | | | | | |
| DENS MAXIMA | | 2.34 | | | | | | | |



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA
LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA



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

Proyecto: Mejoramiento Estructural de Vías 2005
Solicitado: Instituto Nacional de Hidráulica
Ubicación: Huelgas, Calle 1 de la Independencia
Fecha: Abn12007

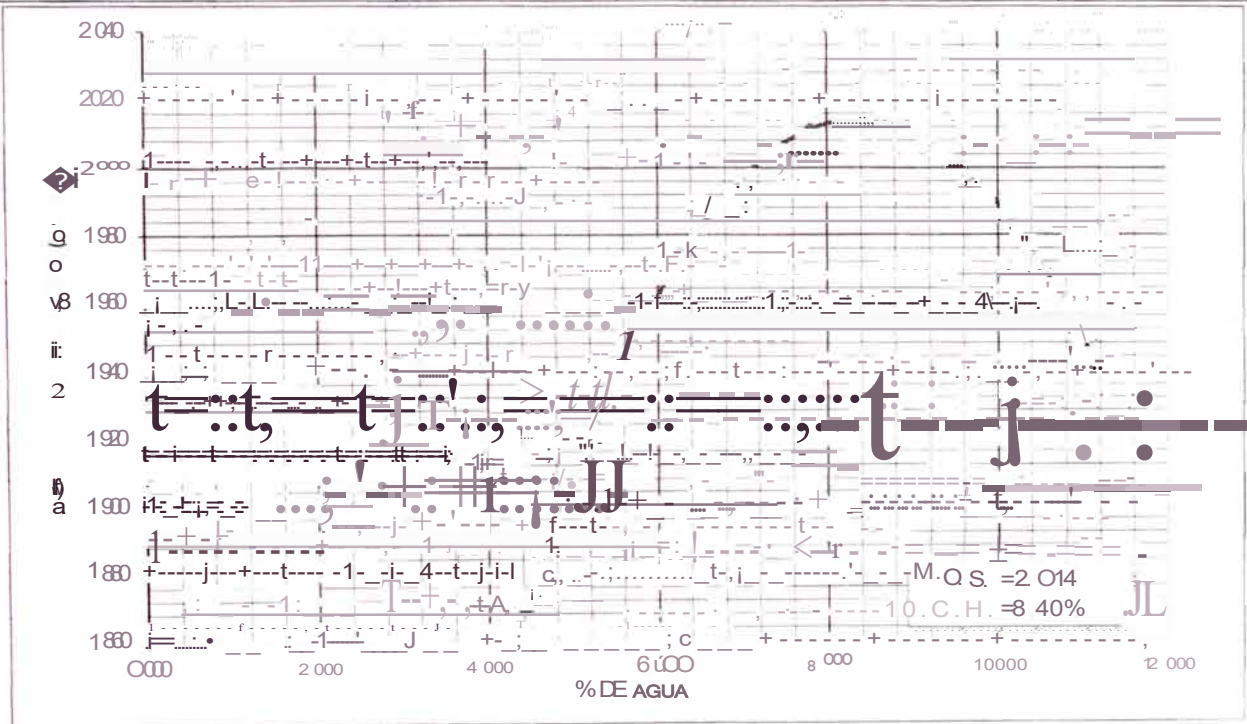
| UBICACIÓN | | | | | | |
|----------------|--|------------|------------|--|--|--|
| MUESTRA | | M-1 | M-2 | | | |
| PROFUNDIDAD | | Subrasante | Subrasante | | | |
| NRO DEL FRASCO | | 1 | 2 | | | |
| 1 | Peso del frasco + peso suelo seco (gr) | 222.4 | 246.6 | | | |
| 2 | Peso del frasco volumétrico | 94.2 | 96.6 | | | |
| 3 | Peso del suelo seco (1 - 2) (gr) | 128.2 | 150 | | | |
| 4 | Peso del frasco + peso suelo + peso agua (gr) | 423.6 | 439.3 | | | |
| 5 | Peso del frasco + peso del agua enrasada (gr) | 343.6 | 346.6 | | | |
| 6 | Volumen del suelo (3 + 5 - 4) (cm ³) | 48.2 | 57.3 | | | |
| 7 | Gs (3)/(6) gr/cc | 2.66 | 2.62 | | | |



ENSAYO DE COMPACTACION
 ASTM D-1557

PROYECTO: Mejoramiento Estructural de Vías Afirmadas con el Sistema Geoweb
 SOLICITADO: Grupo 6 - Curso de Titulación 2006 - FIC FECHA: Abnl 2007
 OPERADOR: M.H.N/L.F.A.N MUESTRA: Subrasante

| MOLDEN ^o : METODO DE COMPACTACION | B | | VOLUMEN | | | |
|---|-------|-------|---------|-------|-----------|--------|
| | A | | | | 922 38 ce | |
| Peso suelo + Molde | 3544 | | 3744 | | 3734 | |
| Peso Molde | 1744 | | 1744 | | 1744 | |
| Peso suelo húmedo compactado | 1800 | | 2000 | | 1990 | |
| Peso volumétrico húmedo | 1.951 | | 2.168 | | 2.157 | |
| Recipiente N ^o | 314 | 359 | 306 | 15 | 366 | 321 |
| Peso suelo húmedo + Tara | 78.63 | 79.27 | 86.45 | 82.41 | 102.45 | 110.34 |
| Peso suelo seco + Tara | 75.77 | 76.38 | 81.08 | 77.47 | 93.30 | 100.36 |
| Tara | 11.20 | 10.95 | 10.75 | 15.57 | 11.62 | 10.83 |
| Peso de agua | 2.86 | 2.89 | 5.37 | 4.94 | 9.15 | 9.98 |
| Peso de suelo seco | 64.57 | 65.43 | 70.33 | 61.90 | 81.68 | 89.53 |
| Contenido de agua | 4.43 | 4.42 | 7.64 | 7.98 | 11.20 | 11.15 |
| Humedad promedio | 4.423 | | 7.808 | | 11.175 | |
| Peso volumétrico seco | 1.869 | | 2.011 | | 1.941 | |



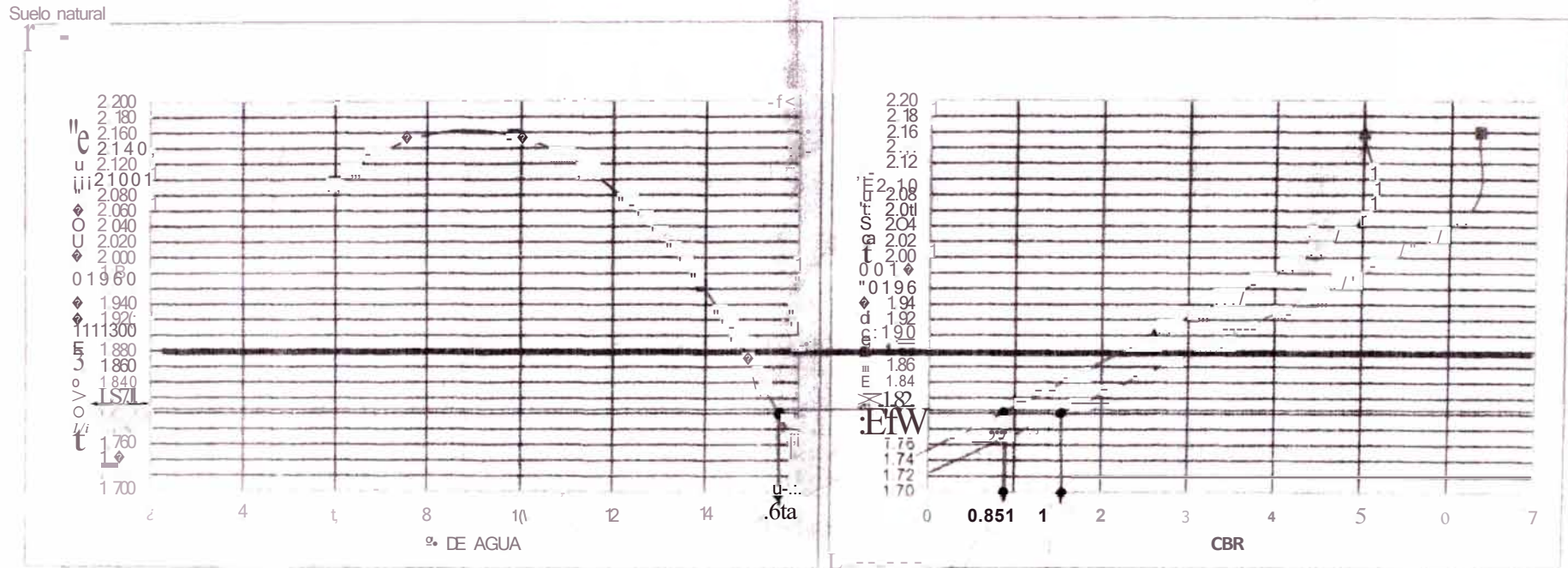
OBSERVACIONES



PANEL FOTOGRAFICO

Proyección de las gráficas Densidad Seca vs. Humedad y Densidad Seca vs. CBR

LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA
 AREA DE GEOTECNIA APLICADA A LA HIDRAULICA





PANEL FOTOGRAFICO



Foto N° 01: Sitio propuesto para el proyecto.



Foto N° 02: Toma de muestra del suelo de cimentación para la determinación del CBR del sitio propuesto.



**Foto N° 03: Preparación del terreno antes de la excavación.
Retiro de la cobertura de piedra chancada de ¾".**



**Foto N° 04: Preparación del terreno antes de la excavación.
Podado de árboles.**



Foto N° 05: Trazado en planta.



Foto N° 06: Excavación para la poza de degradación de subrasante.



Foto N° 07: Apilado del material de excavación por tipos.



Foto N° 08: Vista del sector excavado.



Foto N° 09: Vista lateral del sector asignado para el proyecto.



Foto N° 10: Calicata C-1



Foto N° 11: Calicata C-2



Foto N° 12: Calicata C-3



Foto N° 13: Dos montículos de suelos de características diferentes



Foto N° 14: Toma de muestras de suelos para ensayos de laboratorio.



Foto N° 15: Colocación del suelo seleccionado en poza experimental.



Foto M° 16: Saturación del suelo colocado en poza experimental.



Foto N° 17: Equipo para ensayo de penetración in situ, utilizado en la poza experimental.



Foto N° 18: Equipos para ensayos de penetración in situ.



Foto N° 19: Moldes para toma de muestras in situ en poza experimental para ensayo de CBR.



Foto N° 20: Muestras de suelo tomadas en poza experimental para ensayo de compresión inconfinaada.



Foto N° 21: Preparación de la poza para la degradación de subrasante.



Foto N° 22: Colocación del suelo seleccionado para la generación de la subrasante.



Foto N° 23: Colocación del suelo seleccionado para la generación de la subrasante.



Foto N° 24: Construcción de muros de separación.



Foto N° 25: Saturación del suelo de subrasante.



Foto N° 26: Subrasante de baja capacidad de soporte generado.



Foto Nº 27: Moldeo de muestra de subrasante para ensayo de densidad de campo.



Foto Nº 28: Laboratorio Geotécnico del Laboratorio Nacional de Hidráulica.



Foto N° 29: Toma de muestras para el control de evaporación en la subrasante generada.



Foto N° 30: Ensayo de CBR para la determinación de la correlación con el ensayo de DPL.



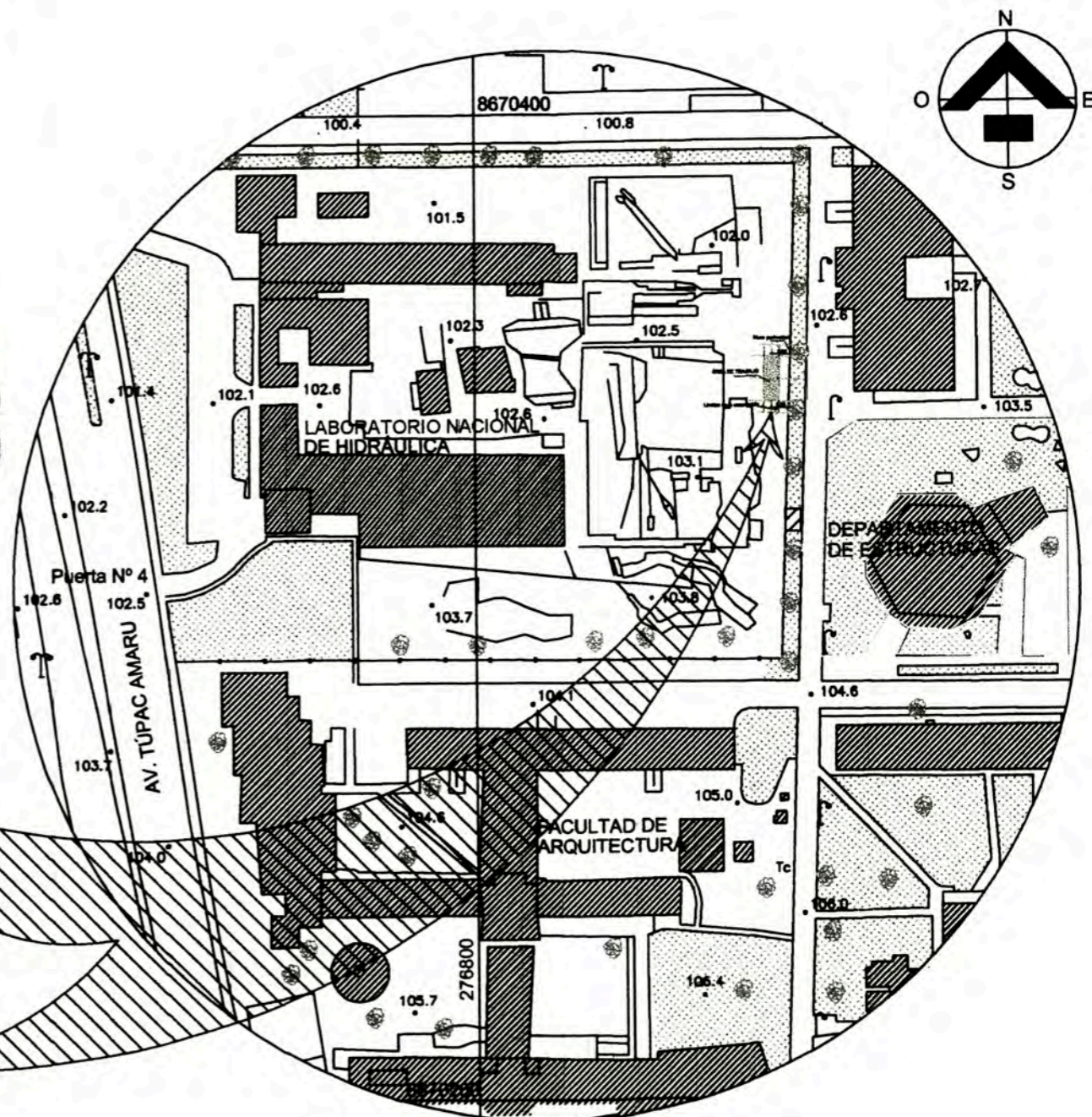
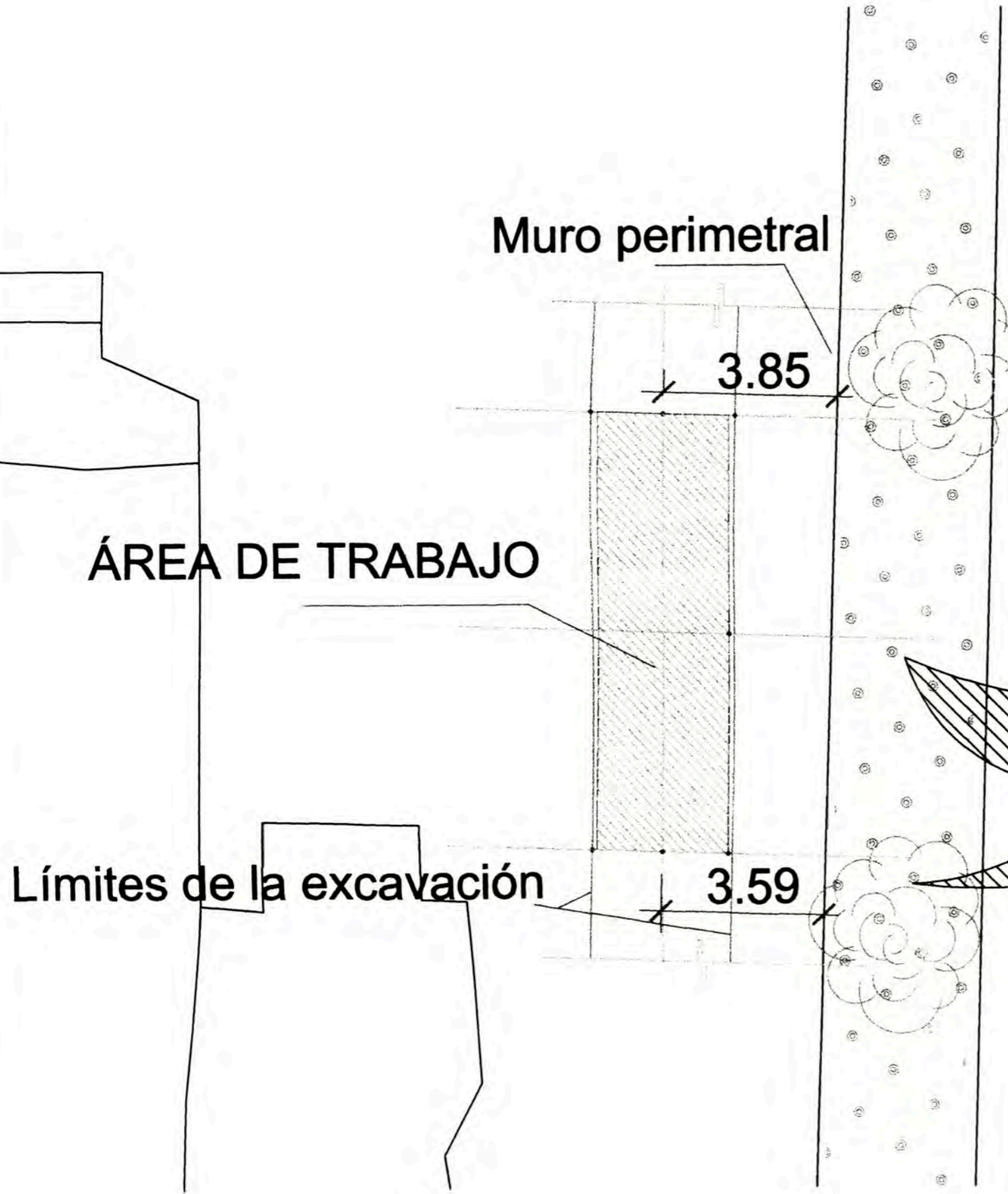
Foto N° 31: La sección de Geoweb es muy compacta que permite el ahorro de espacio y peso.



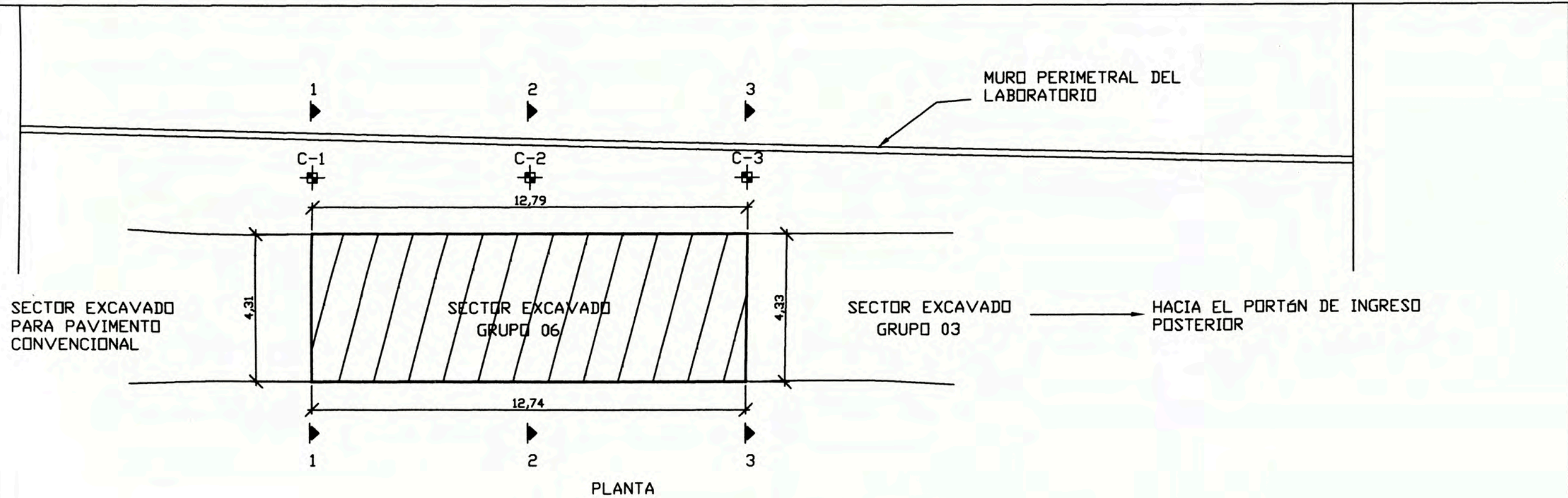
Foto N° 31: Sección de Geoweb extendido. Se puede notar las perforaciones en las paredes laterales de las celdas.



PLANOS



| | |
|--|------------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL | |
| CURSO DE TITULACIÓN 2006 | |
| PROYECTO: MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VÍAS AFIRMADAS CON EL SISTEMA GEOWEB | |
| PLANO: UBICACIÓN GENERAL | |
| FECHA: MAYO, 2007 | NOMBRE DE ARCHIVO: PU-01.DWG |
| ESCALA: S.E | PLANO: PU-01 |

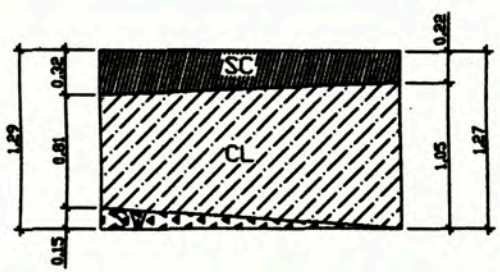


PLANTA

C-1

C-2

C-3



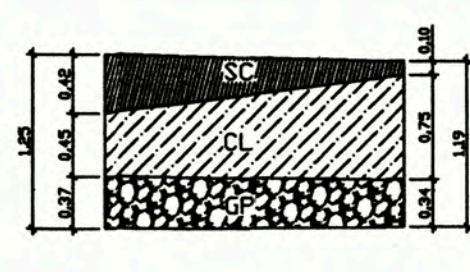
SECCIÓN 1-1

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



SECCIÓN 2-2

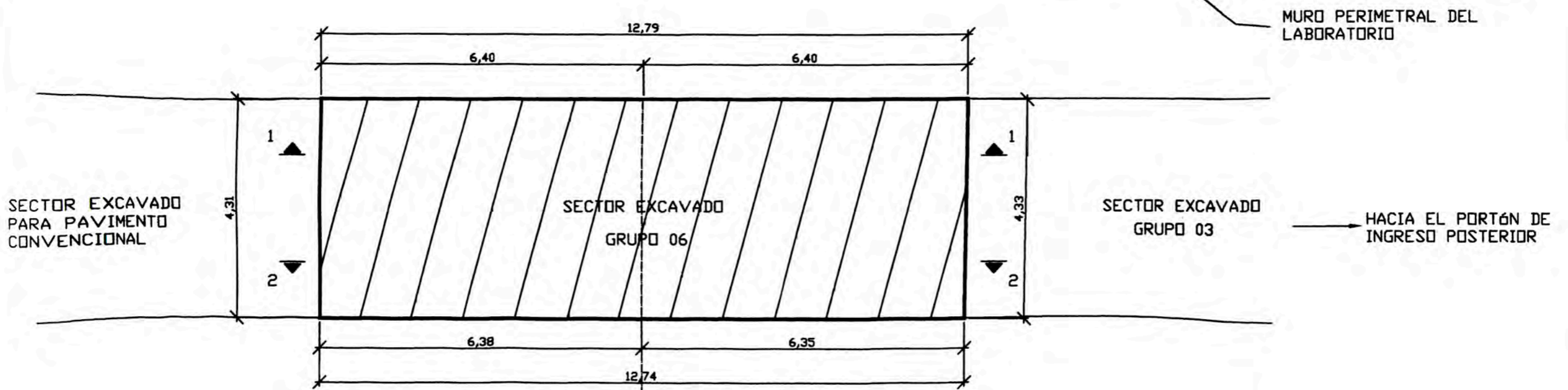
Área SC = 0,92 m²
 Área CL = 2,02 m²
 Área SW = 0,81 m²



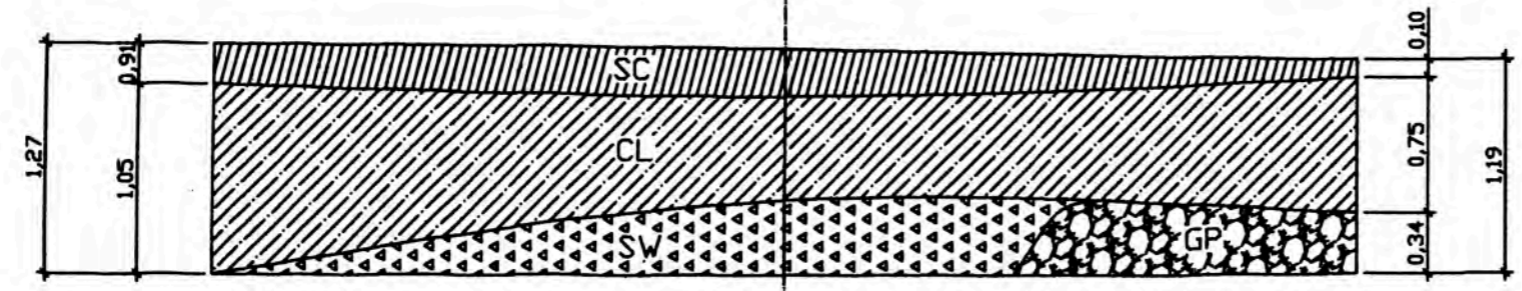
SECCIÓN 3-3

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

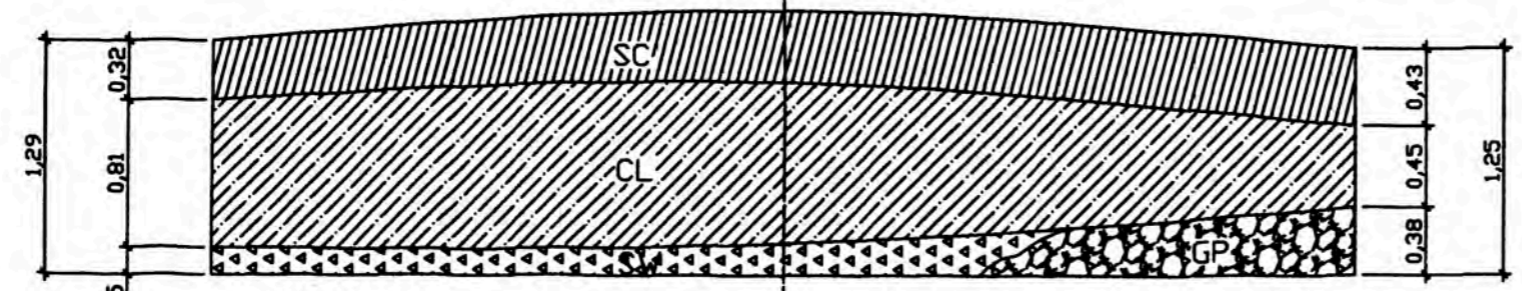
| | |
|---|------------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL | |
| CURSO DE TITULACIÓN 2006 PROYECTO: MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE VÍAS AFIRMADAS CON EL SISTEMA GEOWEB | |
| PLANO: CALICATAS PLANTA, SECCIONES Y ÁREAS | |
| FECHA: MAYO, 2007 | NOMBRE DE ARCHIVO: PS-01.DWG |
| ESCALA: S/E | PLANO: PS-01 |



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 | NOMBRE DE ARCHIVO: PE-01.DWG |
| ESCALA: S/E | PLANO: PE-01 |