



Universidad Nacional Autónoma de México

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

" ARAGON "

**MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO DE
COMPORTAMIENTO DE SUELOS EN LA
E.N.E.P. ARAGON**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

CARLOS MANUEL HUNKEN LEUNG

MEXICO, D. F.

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

| | |
|--|----|
| PROLOGO..... | 1 |
| INTRODUCCION..... | 2 |
| Practica 1. EXPLORACION Y MUESTREO EN SUELOS..... | 3 |
| Practica 2. PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION DE LA FRACCION FINA DE UN SUELO EN EL CAMPO.... | 10 |
| Practica 3. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD... | 15 |
| Practica 4. LIMITES DE PLASTICIDAD. ESTADOS DE CONSISTENCIA..... | 18 |
| Practica 5. GRANULOMETRIA EN SUELOS. ANALISIS GRANULOMETRICO MECANICO..... | 25 |
| Practica 6. GRANULOMETRIA EN SUELOS FINOS. METODO DEL HIDROMETRO..... | 31 |
| Practica 7. DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LA PARTE SOLIDA DE UN SUELO..... | 39 |
| Practica 8. COMPACTACION DE SUELOS. PRUEBA PROCTOR ESTANDAR..... | 44 |
| Practica 9. DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO DE CAMPO..... | 50 |
| Practica 10. DETERMINACION DEL INDICE DE PERMEABILIDAD. PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE..... | 52 |
| Practica 11. PRUEBA DE COMPRESION SIMPLE..... | 58 |
| Practica 12. PRUEBA DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL... | 63 |
| Practica 13. PRUEBA DIRECTA DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE..... | 73 |
| Practica 14. PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL. TRIAXIAL RAPIDA..... | 75 |
| CONCLUSIONES..... | 84 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 85 |

PROLOGO

Una de las preocupaciones del laboratorio del Area de suelos de Ingeniería Civil, además de tener un carácter prioritario, es el contar con la elaboración de Manuales de Prácticas y Apuntes que apegándose a los objetivos educacionales señalados en los programas de estudios permitan al alumno tener un complemento de la materia, en el laboratorio, en este caso, Comportamiento de Suelos, de las características que posee un suelo, para un conocimiento y manejo óptimo de la información que indudablemente traerá consigo mayores beneficios en proyectos más económicos.

Al profesor pretende ser un valioso punto de referencia y guía en el desarrollo de las prácticas.

Este Manual de Prácticas de Laboratorio de Comportamiento de Suelos constituye una introducción a los cursos posteriores del Area y complementan análogamente los temas mas importantes que cubren el programa de la materia de Comportamiento de Suelos.

Se presentan en primer término las prácticas de campo para la obtención de muestras de suelo que posteriormente se ensayarán, haciendo especial énfasis en los límites de consistencia, finalmente se introduce al alumno en la obtención de parámetros importantes para un suelo.

La elaboración de posteriores manuales de prácticas con opiniones y recomendaciones de profesores y alumnos, permitirán reforzar y enriquecer, este trabajo junto a la bibliografía del Area de Mecánica de Suelos de Ingeniería Civil de esta escuela.

INTRODUCCION

Suelo es un conjunto de materiales orgánicos e inorgánicos, que son producto de la intemperización de la corteza terrestre, con organización definida y propiedades características, en las cuales se toma como parte integrante de éste al agua contenida en sus partículas.

Un suelo tiene un amplio rango de características además de que es un material difícil de manejar debido a la complejidad de sus propiedades físicas y debido también a la gran cantidad de factores que deben tomarse en cuenta cuando se desea tener una información sobre su comportamiento futuro.

Tres fuentes distintas puede decirse que son contribuyentes al entendimiento del comportamiento del suelo. La primera fuente es la experiencia desarrollada mediante ensayos en el pasado y representada por los procedimientos convencionales en gran parte empíricos de hoy. La segunda fuente es la información sobre el comportamiento del suelo que puede proporcionar las pruebas de laboratorio y las investigaciones. La tercera es la interpretación científica o el saber que resulta únicamente de un conocimiento metodológico, especializado con todos los fenómenos que influyen sobre el comportamiento de un suelo.

El presente trabajo pretende abarcar la segunda y la tercer fuente, un manual para los estudiantes de ingeniería civil que cursen la materia de Comportamiento de Suelos, para conocer el procedimiento a realizar en cada una de las pruebas requeridas en este curso.

Una información sobre los procedimientos generales de laboratorio que el alumno debe estar en capacidad de emplear.

Este trabajo también trata de asegurar la adecuada presentación de informes y revisar los métodos de presentación gráfica de los datos recabados, cuando sea necesario, a fin de efectuar un adecuado análisis teórico e interpretación científica.

Con lo que respecta a las características y propiedades de un suelo para lograr una plena identificación de éste y así lograr un control de calidad efectivo.

El equipo de laboratorio es costoso, por lo tanto, el manejo de dichos equipos debe ser cuidadoso y eficaz pues son muy sensibles y cualquier daño por pequeño que sea repercutirá en serios errores en la ejecución de las prácticas.

PRACTICA 1

EXPLORACION Y MUESTREO EN SUELOS

GENERALIDADES.

La primera etapa que debe realizarse para efectuar un estudio de mecánica de suelos es la exploración y muestreo. Ya que para obtener datos firmes y verídicos de un suelo se debe de cumplir esta primer fase que implica obtener cantidades suficientes de suelo representativo de cierto lugar para realizar las diferentes pruebas de laboratorio que el proyecto exija. Y aun repetir las incorrectas.

Para clasificar preliminarmente un suelo, o para determinar sus propiedades en un laboratorio, es necesario contar, con muestras del lugar mismo de la obra en proceso. Con respecto al propósito con el que se toman las muestras, estas se dividen en muestras preliminares y muestras definitivas. Las muestras preliminares no necesitan requisitos especiales, a excepción de que se exija de que sean representativas. En cambio las muestras destinadas a laboratorio, deben llenar una serie de requisitos con respecto al tamaño método de obtención, embarque etc.

Tanto las muestras preliminares como las definitivas, pueden ser: inalteradas, cuando se toman todas las precauciones para que la muestra esté en las mismas condiciones en que se encuentra en el terreno de donde procede. Alteradas, cuando las muestras obtenidas no están sometidas a la misma condición de esfuerzos que en su lugar de origen.

Toda muestra obtenida debe llevar etiquetas de identificación con los siguientes datos:

- Nombre y ubicación de la obra
- Profundidad a la que fue tomada la muestra.

Además la cantidad de material que constituye una muestra debe ser suficiente para realizar todas las pruebas de laboratorio y aun repetir las incorrectas o aquellas cuyos resultados sean dudosos.

Es conveniente señalar que un punto muy importante y a veces pasado por alto, es la relación entre las propiedades del suelo, el muestreo, y las pruebas de laboratorio o campo.

En general las pruebas de laboratorio indican de modo muy preciso las propiedades del suelo. Estas propiedades pueden cambiar con el manejo que se hace al preparar la muestra para la prueba, sin embargo, con una cuidadosa técnica se llega a limitar estos cambios a valores despreciables.

OBJETIVOS:

Esta práctica tiene como propósitos:

1. Enseñar al estudiante un método para la obtención de muestras de suelo alterado.
2. Capacitar al estudiante para obtener una indicación de variación, según la profundidad del contenido de humedad natural del suelo.
3. Recolectar información para dibujar un perfil de suelos simple.
4. Obtener una muestra de suelo inalterado para posteriores ensayos en el laboratorio.

Esta práctica está dividida en muestreo inalterado y alterado, dentro de los cuales se encuentran varios procedimientos.

Los objetivos dos y tres se complementarán con la practica tres. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.

A) MUESTRAS ALTERADAS.**A.1) POZOS A CIELO ABIERTO****EQUIPO:**

Palas
Picos
Cucharas de albañil
Bolsas de lona
Etiquetas
Cuerdas
Botes

PROCEDIMIENTO:

1. Se abre un pozo de 1.0m x 1.5m o 2.0m, hasta una profundidad permisible, es decir, hasta encontrar material no excavable con pico y pala, o agua freática.
2. En una de las paredes del pozo se va abriendo una ranura vertical de sección uniforme de 20cm. de ancho por 15cm. de profundidad.
3. El material excavado se recibe totalmente si el muestreo es integral en un bote de lámina, en caso contrario, debe escogerse por separado el producto de cada una de las capas en que el material cam-

bia.

Muestreo por capas: La muestra de cada capa se vacía en un cajón que está protegido en su interior con un forro de papel o un costal de malla cerrada para evitar pérdidas de material fino.

Muestreo integral: El producto de todas las capas se depositará en un único envase.



En la foto se muestran muestras inalteradas de terrenos adyacentes a la ENEP Aragón.

A.2) SONDEO CON PALA DE POSTEAR

EQUIPO:

Pala de postear
Bolsas de lona
Etiquetas

PROCEDIMIENTO:

1. Se limpia el terreno donde se hará penetrar la posteadora.
2. Se introduce la pala de postear haciéndola girar sobre su eje, una vez llena se saca y se deposita el material en la bolsa de lona y se etiqueta marcando la profundidad.
3. Esta operación se repite hasta llegar a la profundidad deseada.

B) MUESTRAS INALTERADAS

Las muestras inalteradas deben de conservar las condiciones de un suelo en su estado natural, por lo que su obtención, empaque y transporte requieren cuidados especiales a fin de no alterarlas.

B.1) POZOS A CIELO ABIERTO

EQUIPO:

Pico y pala
Charola con parafina y brea
Brochas
Bote de lámina
Cuerda de guitarra (2a)
Manta de cielo
Machete
Cuchara de albañil
Machuela
Cajón de madera
Aserrín
Etiquetas

PROCEDIMIENTO:

1. Se limpia y nivela el terreno y se traza un cuadro de 2.0m x 2.0m y otro menor de 40cm por lado.
2. Se excava cuidadosamente alrededor del cuadro menor marcado

hasta una profundidad un poco mayor que la altura que se requiere dar a la muestra, labrando al mismo tiempo las cinco caras descubiertas, auxiliándose con la cuerda de guitarra y el machete.

3. Para obtener la muestra de una pared se excava alrededor en forma semejante a la anterior conservando la cara inferior.

4. Con todo cuidado se recorta el terreno por la base de la muestra para poder desprenderla. Debe marcarse con la letra 'S' la cara superior a fin de darle cuando se ensaye similar posición a la que tenía en el terreno. Además debe indicarse en caso necesario la dirección en que fluye el agua.

5. Una vez extraída la muestra debe ser inmediata y cuidadosamente protegida con manta de cielo y dos o tres capas de parafina y brea, de ser posible esa protección debe iniciarse en su sitio al ir descubriendo cada cara.

6. Una vez cubierta la muestra con esta mezcla se coloca en un cajón de mayor dimensiones a fin de poderla empacar con aserrín, papel o paja, de manera que la muestra quede protegida contra golpes o choques durante el transporte.

7. Una de las tarjetas de identificación se coloca en la muestra para su identificación



Muestra cúbica labrada de un pozo a cielo abierto.



Muestreo inalterado en un cuarto de labrado.

B.2) TUBO DE PARED DELGADA A PEQUEÑAS PROFUNDIDADES EN SUELOS SUAVES

En suelos suaves, en general cohesivos y sin grava, las muestras inalteradas se obtienen regularmente utilizando un tubo muestreador de lámina con filo en una de sus bocas.

EQUIPO:

- Tubo de pared delgada (tubo Shelbi)
- Pico
- Pala
- Hachuela
- Parafina y brea
- Charola
- Aserrín

PROCEDIMIENTO:

1. Después de nivelar y limpiar el terreno se introduce el tubo muestreador hasta donde la resistencia del terreno lo permita.

2. Si con la simple presión no se logra introducir todo el tubo muestreador, se excava a su alrededor para eliminar la fricción en la cara exterior del mismo.

3. Después de introducir todo el tubo muestreador, se recorta la muestra por su base y se envasa al tamaño del tubo.

4. Se protege las bases de la muestra con una capa de parafina y brea, a continuación se empaca en un cajón con aserrín, papel o paja para evitar que se rompa durante el transporte.

PRACTICA 2**PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION DE LA FRACCION FINA DE UN SUELO EN EL CAMPO****GENERALIDADES.**

Existen tres sencillas pruebas manuales para la identificación y clasificación de los suelos finos en el campo y para determinar si la fracción fina del suelo es limo o arcilla, sin que se requiera la estimación de los límites de Atterberg. Estas pruebas manuales, que forman parte de los procedimientos de campo en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, son:

- Dilatancia (Reacción al agitado)
- Resistencia en estado seco (Características al rompimiento)
- Tenacidad (Consistencia cerca del límite plástico)

El conocimiento de las características de la fracción fina de un suelo de un medio casi inmediato nos sirve para marcar diferencias, por ejemplo un suelo fino arenoso puede ser en apariencia similar a las arcillas, pero al tratar de formar los rollitos en la prueba de tenacidad nos damos cuenta de la falta de plasticidad del material.

Así pues, el procedimiento a seguir en estas sencillas pruebas son de gran ayuda para el estudiante, que quiere darse una idea del terreno, conociendo sus características.

El conjunto de pruebas citadas se efectúa en una muestra de suelo previamente cribado por la malla No. 40 o en ausencia de ella se sometera a un proceso manual equivalente, es decir, con las manos se quitarán las partículas mayores que la malla citada 0.420 mm.

OBJETIVO:

El estudiante estará capacitado para identificar la fracción fina de un suelo, sin necesidad de la estimación de los límites de Atterberg como medida preliminar de clasificación.

A) DILATANCIA**PROCEDIMIENTO:**

1. Se toma una muestra representativa que pase la malla No. 40 (la muestra sera aproximadamente de 300 grs)
2. Se hace una pastilla de suelo húmedo de un volumen aproximado a 10 centímetros cúbicos añadiendo suficiente agua para dejar al suelo

suave pero no pegajoso.

3. Se coloca la pastilla de suelo húmedo en la palma de la mano y se agita horizontalmente golpeandola con la otra mano. Una reacción positiva consiste en que en la superficie de la pastilla aparece agua, esto es, tiene mayor dilatancia, y mayor deformabilidad.

Una tabla indicativa es la que se muestra a continuación:

| SUELO | VELOCIDAD DE REACCION |
|------------------------|-----------------------|
| Areñas muy finas | Muy rápida |
| Limos inorgánicos | Moderada |
| Arcillas muy plásticas | No hay reacción |

NOTA. La tabla es sólo un indicador y por lo tanto no un suelo por tener una reacción moderada, debe ser un limo inorgánico, por lo tanto, la tabla es flexible.



DILATANCIA

B) RESISTENCIA EN ESTADO SECO

PROCEDIMIENTO:

1. Se toma una muestra representativa que pasa la malla No. 40 (la muestra será aproximadamente de 300 grs)
2. Se prepara una pastilla de suelo húmedo de volumen aproximado de 10 centímetros cúbicos añadiendo agua para dejar al suelo suave no pegajoso.
3. Se pone a secar la pastilla.
4. Se prueba a la resistencia al esfuerzo cortante rompiéndola y desmoronándola con los dedos. Una tabla indicativa se muestra a continuación:

| SUELO | RESISTENCIA EN ESTADO SECO |
|--------------------------|----------------------------|
| Arcilla alta plasticidad | Alta |
| Limos inorgánicos | Baja |
| Arcillas finas limosas | Baja |

NOTA. La tabla es también flexible.



C) TENACIDAD

PROCEDIMIENTO:

1. Se toma una muestra representativa que pasa la malla No.40 (la muestra será aproximadamente de 300 grs)

2. Se prepara una pastilla de suelo húmedo de volumen aproximado a 10 centímetros cúbicos añadiendo suficiente agua para dejar al suelo suave no pegajoso.

3. Se rodilla la pastilla hasta hacer un rollito de 3 mm.

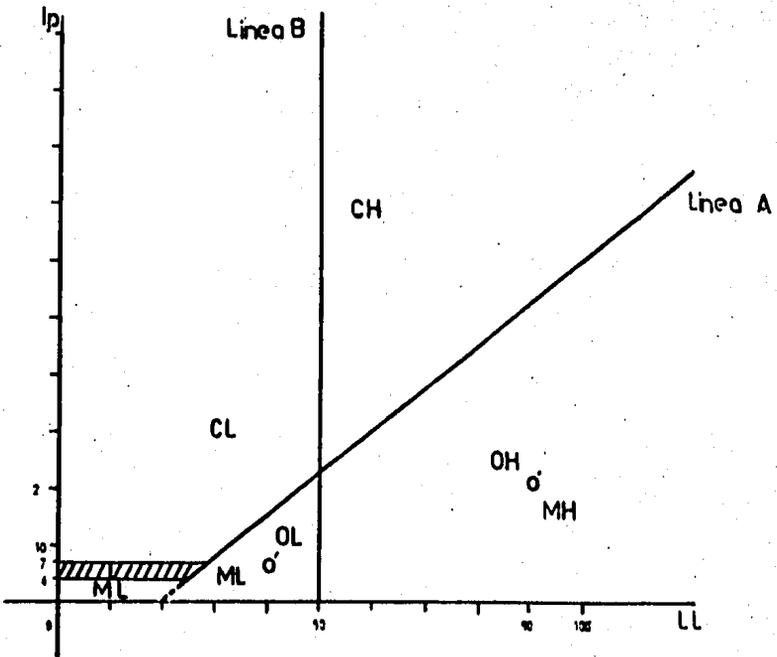
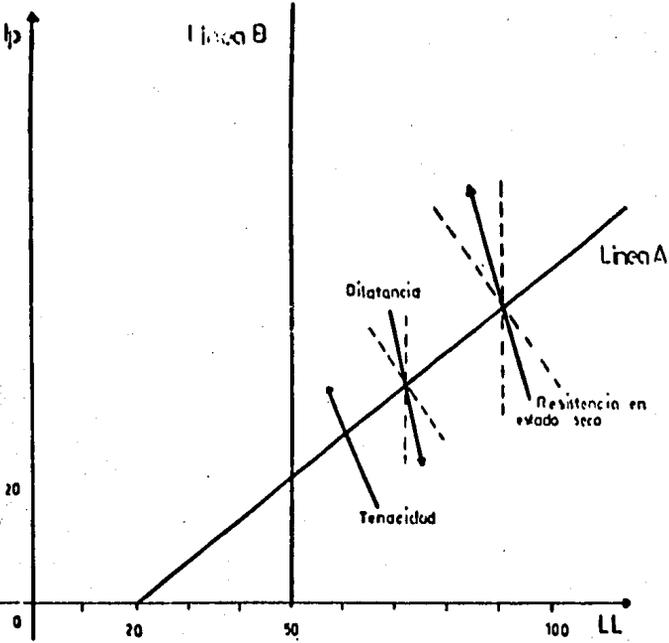
4. Se amasa y se vuelve a rodillar.

5. Se repite el procedimiento a seguir en tres y cuatro, hasta que se desmorone el rollito.

6. Se juntan los pedazos y se amasan ligeramente formando una bolita hasta que se desmorone nuevamente.

| SUELO | RIGIDEZ DE LA BOLITA |
|--------------------------------------|----------------------|
| Arcilla inorgánica alta plasticidad. | Alta |
| Arcilla inorgánica baja plasticidad | Baja |





PRACTICA 3

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

GENERALIDADES.

El contenido de humedad o de agua de un suelo, es la relación entre el peso de agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida. Suele expresarse como un porcentaje!

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Siendo:

W_w = Peso del agua
 W_s = Peso de sólidos

Esto varía teóricamente de cero a infinito. En la naturaleza la humedad de los suelos varía entre límites muy amplios.

Este índice es de suma importancia para conocer las características de un estrato de suelo y nos da una amplia idea de su estado.

OBJETIVO:

Poder cuantificar el contenido de humedad de un suelo.

EQUIPO:

Vidrios de reloj
 Balanza con 0.1 gramos de aproximación
 Horno a temperatura constante 105 grados centígrados
 Desecador

PROCEDIMIENTO:

1. Se marcan los vidrios de reloj y se pesan para obtener el peso de la tara.
2. Dada la muestra se pesa la tara con la muestra húmeda, obteniendo así el peso de la muestra húmeda mas tara.
3. Se seca en el horno durante 24 hrs a una temperatura constante de 105 grados centígrados.
4. Se saca del horno y se introduce en un desecador durante 12 hrs para que se enfríe y no absorba ninguna humedad.
5. Se pesa para obtener peso de la muestra seca mas tara.
6. La humedad queda definida por la expresión:

$$W_{ww} - W_{ms}$$

$$w (\%) = \frac{W_{mw} - W_{ms}}{W_{ms}} \times 100$$

Donde:

W_{mw} = Peso de la muestra húmeda (se obtiene restándole el peso de la tara al peso obtenido en el inciso dos)

W_{ms} = Peso de la muestra seca (se obtiene restándole al peso obtenido en cinco el peso de la tara.

O bien, directamente se puede sacar el contenido de humedad

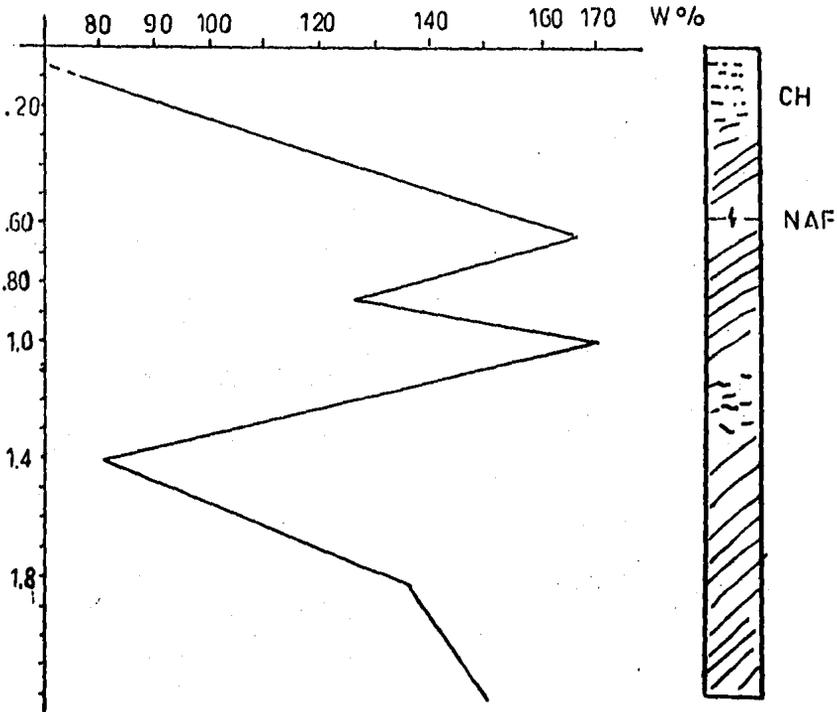
$$w = \frac{(\text{Peso de la muestra húmeda} + \text{Tara}) - (\text{Peso de la muestra seca} + \text{tara})}{\text{Peso de la muestra seca} - \text{Peso tara}}$$

EJEMPLO: El contenido de humedad se obtuvo de muestras alteradas obtenidas con la posteadora en la práctica uno.

| Tara | Prof. | Wtara | Wt+Wmw | Wt+Wms | w% |
|------|-------|--------|----------|---------|--------|
| 1 | .20m | 16.43 | 37.8 | 27.5 | 93.04 |
| 2 | .65m | 16.31 | 36.1 | 23.7 | 167.79 |
| 3 | .85m | 16.24 | 36.28 | 25.1 | 126.18 |
| 4 | 1.0m | 16.77 | 31.51 | 22.3 | 166.54 |
| 5 | 1.4 | 8.22 | 20.82 | 15.2 | 80.51 |
| 6 | 1.8 | 8.17 | 21.77 | 14.0 | 133.27 |
| 7 | 2.2 | 8.0grs | 21.20grs | 13.3grs | 149.05 |

La última columna indica el contenido de humedad obtenido.

En la lámina que se muestra a continuación se encuentra graficada la variación del contenido de agua con la profundidad del sondeo indicado.



VARIACION DEL CONTENIDO DE AGUA
EJEMPLO

PRACTICA 4**LIMITES DE PLASTICIDAD. ESTADOS DE CONSISTENCIA****GENERALIDADES.**

Las propiedades de un suelo formado por partículas finamente divididas, como una arcilla no estructurada, dependen en gran parte de la humedad. El agua forma una película alrededor de los granos y su espesor puede ser determinante de comportamientos diferentes del material. Cuando el contenido de agua es muy elevado en realidad se tiene una suspensión muy concentrada, sin resistencia estática al esfuerzo cortante; al perder agua, va perdiendo esa resistencia hasta alcanzar un estado plástico en que el material es fácilmente moldeable, si el secado continúa, el suelo llega a adquirir las características de un sólido pudiendo resistir esfuerzos de tensión y compresión considerable.

Ahora bien Atterberg definió acertadamente que un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, según su contenido de agua en orden decreciente:

- Estado líquido, con las propiedades y apariencias de una suspensión.
- Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
- Estado plástico, en el que el suelo se comporta plásticamente.
- Estado semisólido, en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido pero aun disminuye de volumen al estar sujeto al secado.
- Estado sólido, en el que el volumen del suelo no varía con el secado.

Arbitrariamente Atterberg marcó las fronteras de los estados anteriores en que puede presentarse los materiales granulares muy finos, mediante la fijación de los límites: líquido, plástico y de contracción.

El límite líquido es la frontera convencional entre los estados semilíquidos y plásticos.

El límite plástico es la frontera convencional entre los estados plásticos y semisólidos.

El límite de contracción es la frontera convencional entre los estados semisólidos y sólidos.

A estos límites se les llama límites de consistencia.

Al límite líquido (L.L.) lo fija el contenido de agua (expresado en por ciento del peso seco), que debe tener un suelo moldeado para

una muestra del mismo en el que se haya practicado una ranura de dimensiones estándar, al someterla al impacto de un determinado número de golpes bien definidos se cierre sin resbalar en su apoyo (usando el dispositivo de Casagrande), teniendo como altura de caída un centímetro.

Al límite plástico (L.P.) lo fija el contenido de agua con el que se comienza a agrietarse un rollo formado con el suelo en estudio, de 3 mm de diámetro, al rodarlo por la mano sobre una superficie lisa no absorbente que puede ser una placa de vidrio.

El límite de contracción (L.C.) es el contenido de agua que saturaría a un suelo contraído por secamiento de evaporación.

La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico se llama índice de plasticidad (I_p) y es una medida de la plasticidad de un suelo. Se define al índice de contracción (I_c) por la diferencia entre los límites plástico y de contracción.

OBJETIVO:

Introducir al estudiante al procedimiento de determinación del límite plástico y líquido.

A) DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

EQUIPO:

Copa de Casagrande con ranurador de lámina
Balanza de 0.01 grs de aproximación
Cápsulas de porcelana
Espátula
Horno
Gotero
Vidrios de reloj

PROCEDIMIENTO:

1. Se toma una muestra de suelo que pase por la malla No. 40
2. Se procede a hacer una pasta de consistencia cercana a los diez golpes en la prueba del límite líquido.
3. Se mezcla la muestra en una cápsula de porcelana hasta hacerla homogénea, con la misma espátula se coloca en la copa entre 50 y 75 grs de la muestra y se enrasa la superficie. La cantidad de material debe ser suficiente para poder labrar la ranura de 2 mms de ancho y longitud de 4cm aproximadamente.
4. Se hace una ranura en el centro de la muestra, inclinando el ranurador de manera que permanezca perpendicular a la superficie interior de la copa. Para arcillas arenosas, limos con poca plasticidad y algunos suelos orgánicos, el ranurador plano no permite labrar la ranura satisfactoriamente, para estos suelos, se utiliza

otra clase de ranurador en forma curva.

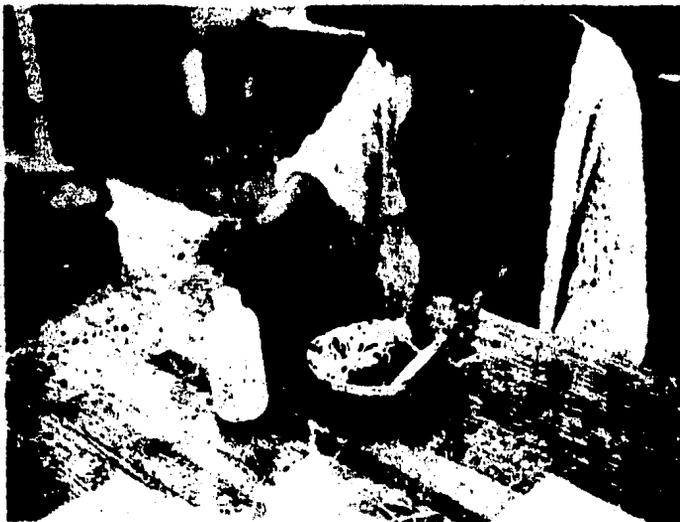
5. Después de asegurarse de que la copa y su base estén limpias y secas, se da vuelta, uniformemente a la manija a razón de dos golpes por segundo hasta que la ranura se cierre en una longitud de 1.3 cms aproximadamente. Si el cierre de la ranura es irregular debido a burbujas de aire o granos de arena, se descarta el resultado obtenido.

6. Con la espátula se vuelve a mezclar el material y se repite las operaciones especificadas en 3, 4, 5 hasta que se obtenga dos determinaciones congruentes con diferencia máxima de un golpe. Se anota el resultado. y se obtiene el contenido de humedad.

7. Se repiten los pasos del 3 al 6 con material mas seco hasta obtener resultado entre 10 y 35 golpes. El contenido de agua se puede reducir comprimiendo el suelo entre toallas de papel o mezclándola sobre una placa de cerámica microporosa en ambiente seco.

8. Se traza la curva que más ajuste a los puntos obtenidos en el ensaye semilogarítmico. Se obtiene de esta manera la curva de fluidez

9. La ordenada de la curva correspondiente a una abscisa de 25 golpes es el límite líquido. Se redondea el valor obtenido al entero mas cercano.



Se muestra aquí la copa de Casagrande y material necesario para la prueba de límite líquido.

B) DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**EQUIPO:**

Placa de vidrio
Alambre de 3.2mm
Placa de cerámica microporosa
Vidrios de reloj
Horno
Báscula

Esta prueba se realiza simultáneamente a la anterior ya que el material utilizado se prepara al mismo tiempo que el material para el límite líquido. Se recomienda realizar esta prueba en un cuarto húmedo.

PROCEDIMIENTO:

1. Se toma aproximadamente un centímetro cúbico de la muestra. Si el material tiene un contenido de agua inicial excesivo se rueda repetidamente sobre la placa de cerámica microporosa en atmósfera seca hasta que tenga un contenido de agua próximo al límite plástico, se regresa al cuarto húmedo.

2. Se rueda la pequeña muestra sobre una placa de vidrio, bajo la palma de la mano o la base del pulgar hasta formar un cilindro de 3.2 mm de diámetro y de 13 cm de largo, aproximadamente.



3. Se pliega el cilindro de suelo se amasa para que tome un forma elipsoidal y se vuelve a rodar, se repite la operación tantas veces sea necesario, para que, al perder agua por evaporación y llegar al diámetro de 3.2mm el cilindro se agriete y se rompa en segmentos de 1 cm de largo aproximadamente. En el caso de suelos orgánicos el cilindro debe rolarse con cuidado para que no se rompa prematuramente. Para suelos muy plásticos deberán ejercer una presión considerable para reducir el diámetro del cilindro a 3.2 mm . Co frecuencia estos suelos no se agrietan en el límite plástico.

4. Una vez al llegar al límite plástico se obtendrá el contenido de humedad.

5. La prueba se repetirá dos o tres veces para verificar resultados.



OBRA: _____

LOCALIZACION: _____

SONDEO N°: _____ ENSAYE N°: 4

MUESTRA N°: _____ PROF: _____

DESCRIPCION: Suelo fino arcilloso muy humedo

FECHA: _____ OPERADOR: A. JG.

LIMITES DE PLASTICIDAD
Y HUMEDAD NATURAL

CALCULISTA: C. H. L.

LIMITE LIQUIDO

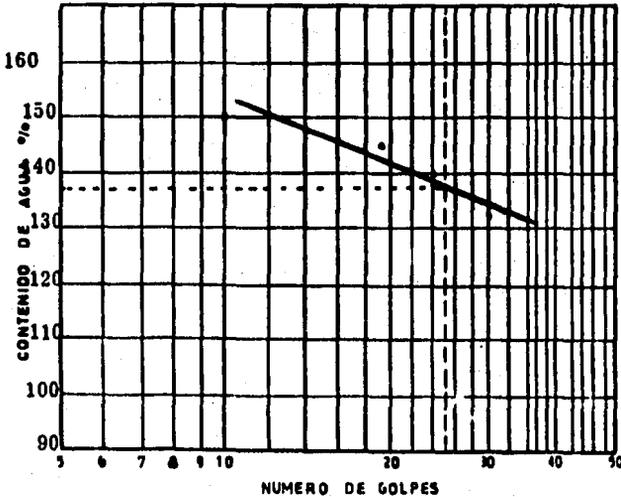
| PRUEBA N° | CAPSULA N° | NUMERO DE GOLPES | | PESO CAP SUELO HUM. | PESO CAP SUELO SECO | PESO DEL AGUA | PESO DE LA CAPSULA | PESO DEL SUELO SECO | CONTENIDO DE AGUA (W) |
|-----------|------------|------------------|----|---------------------|---------------------|---------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| | | — | — | gr | gr | gr | gr | gr | % |
| 1 | 3 | 10 | 10 | 27.45 | 15.18 | 12.27 | 7.05 | 8.13 | 150 |
| 2 | 4 | 20 | 19 | 29.50 | 16.15 | 13.00 | 7.0 | 9.15 | 145 |
| 3 | 1 | 24 | 24 | 28.20 | 16.14 | 12.06 | 7.10 | 9.04 | 140 |
| 4 | 2 | 30 | 29 | 27.15 | 14.47 | 12.68 | 4.90 | 9.57 | 132 |

LIMITE PLASTICO

| | | | | | | | | |
|---|---|-------|------|------|-----|------|-----|------|
| 1 | a | ===== | 13.4 | 10.9 | 2.5 | 6.90 | 4.0 | 62.5 |
| | | ===== | | | | | | |
| | | ===== | | | | | | |

HUMEDAD NATURAL

| | | | | | | | | |
|---|----|-------|------|------|-------|-------|--|--------|
| 2 | A1 | ===== | 36.1 | 23.7 | 10.30 | 16.31 | | 167.79 |
| | | ===== | | | | | | |
| | | ===== | | | | | | |



$W = 167.79$ %

$LL = 139.5$ %

$LP = 62.5$ %

$L_p = 77$ %

$C_r = \frac{LL - W}{L_p} =$ _____

$F_w =$ _____ %

$T_w = \frac{L_p}{F_w} =$ _____

CLASIF. SUCS: CH

OBSERVACIONES: _____

ERRORES POSIBLES EN LA DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO Y LIQUIDO.

Los errores mas graves se presentan al usar una muestra no representativa del material probado.

Límite Líquido

1. Dispositivo para determinar el límite, mal construido o mal ajustado. Punto de percusión gastado.
2. Ranurador con punta gastado, lo que ocasiona que la ranura formada en el suelo tenga mas de dos milímetros de ancho en el fondo.
3. Corte incorrecto en la ranura. En suelos arenosos ocurre que el material se desliza sobre la superficie de la copa al labrar la ranura. En ese caso se subestima el límite líquido.
4. Pérdidas de agua durante la prueba. Para ciertos suelos, los resultados obtenidos son muy variables, a menos que se realice una prueba en un cuarto húmedo.

Límite Plástico

1. Rodado del cilindro con los dedos. Los dedos rompen el cilindro antes de que el material llegue al límite plástico.
2. Diámetro final del cilindro incorrecto.
3. Detener la operación de rodado antes de tiempo. Si existe una duda en cuanto a saber si ya se ha llegado al límite plástico, es mejor volver a rodar una vez mas el cilindro que detener el proceso antes de lo debido.

PRACTICA 5

GRANULOMETRIA EN SUELOS. ANALISIS GRANULOMETRICO MECANICO

GENERALIDADES:

El análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que le componen. Es de poca utilidad en los suelos finos, pero permite formarse una idea aproximada de algunas de las propiedades de los granos gruesos.

La granulometría puede determinarse por medio de mallas, por el método del hidrómetro o bien combinando ambos.

En el presente trabajo se encuentran separados estos dos métodos en dos prácticas diferentes.

El análisis mecánico se concreta a segregar el suelo por medio de una serie de mallas que definen el tamaño de la partícula.

La composición granulométrica de un suelo, representa, gráfica o numéricamente la distribución de los diferentes tamaños de los granos que componen a dicho suelo. Se acostumbra trazar una curva que representa el análisis granulométrico y que en la gráfica tendrá por abscisa y con escala logarítmica las aberturas de las mallas, y por ordenadas y a escala aritmética los porcentajes.

En términos generales puede decirse que un material alcanza su mayor estabilidad cuando la cantidad de vacíos se reduce a un mínimo y para que esto suceda es necesario que exista un balance entre los granos de este material que permita que los huecos dejados por granos mayores sean ocupados por granos menores y a su vez que los huecos dejados por estos últimos, se acomoden granos finos y así sucesivamente.

Estas curvas de granulometría encuentran su mayor aplicación en el estudio de los materiales que se utilizan en las construcciones de pavimentos.

OBJETIVO: Que el estudiante conozca el método para hacer el análisis granulométrico mecánico y la forma de presentar los resultados obtenidos.

EQUIPO:

- Juego de mallas
- Recipiente de lámina
- Balanza
- Cucharón
- Escobilla
- Cápsulas de porcelana

El análisis por medio de mallas, se efectúa con la muestra

entera. Partiendo de la malla No. 4 consideramos que todo el material que es retenido en dicha malla es grava y el material que pase es arena.

PROCEDIMIENTO:

Se toma una muestra de 5 kgs y se pone en un recipiente (tara) de peso conocido. Posteriormente y por comodidad se procede a hacer la separación del material en grava y arena por medio de la malla No. 4, una vez efectuado lo anterior cada uno de los materiales resultantes se pone en una tara de peso conocido.

a.) Material retenido en la malla No.4 (grava)

1. Se coloca el juego de mallas en forma descendente con respecto a su abertura, de la siguiente manera:

Mallas: 3", 2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No.4.

2. Se pasa la muestra por dicho juego haciendo movimientos rotatorios horizontales y movimientos verticales con el fin de que cada malla retenga la graduación que le corresponde.

3. La muestra retenida en cada una de las mallas se coloca en una tara de peso conocido y se pesa teniendo cuidado de que en cada malla retenga la graduación que le corresponde.

4. Se anotan los resultados en la hoja de cálculo.



Aparato Ro-Tap con juego de mallas en el análisis granulométrico mecánico.

b.) Material que pasa la malla No. 4 (arena)

Equipo adicional: Aparato Ro-Tap

1. Se toma aproximadamente 200 grs de material de arena

2. Se pasa el material por el juego de mallas en forma descendente con respecto a su abertura de la siguiente manera:

Mallas: 8, 14, 30, 40, 50, 100, 200, tara.

3. Se pasa la muestra por el juego de mallas con la ayuda del aparato Ro-Tap.

4. La muestra retenida en cada una de las mallas se coloca en una tara de peso conocido y se procede a pasarlas teniendo cuidado de que en cada malla quede únicamente la graduación que le corresponde.

5. Se anotan los resultados en la hoja de calculo.

Tanto el material retenido en la malla No. 4 como el que pasa, la suma de los pesos parciales resultantes en cada malla debe ser igual al peso inicial del suelo no segregado, admitiéndose una tolerancia de 0.05% por pérdidas de operación.





DETERMINACION DE PESO VOLUMETRICO DE MATERIAL SECO Y SUELTO Y COMPOSICION GRANULOMETRICA

COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N°4

| MALLA | PESO RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO ACUMULATIVO | % QUE PASA LA MALLA |
|----------|-----------------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| 2" | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 1 1/2" | ----- | --- | --- | ----- |
| 1" | 310 | 5.54 | 5.54 | 94.46 |
| 3/4" | 615 | 10.98 | 16.52 | 83.48 |
| 1/2" | 700 | 12.50 | 29.02 | 70.98 |
| 3/8" | 320 | 5.71 | 34.73 | 65.27 |
| 1/4" | | | | |
| N°4 | 256 | 4.57 | 39.30 | 60.70 |
| Posa N°4 | 3399 | 60.70 | | |
| Suma | 5600 | 100 | | |

DETERMINACION DE LA COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL TAMIZADO POR LA MALLA N°4 (Por lavado)

OPERADOR _____ FECHA _____

| Malla N° | PESO RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO ACUMULATIVO | % QUE PASA LA MALLA |
|------------|-----------------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| 10 | 80.80 | 12.31 | 51.61 | 48.39 |
| 20 | 86.30 | 13.14 | 64.75 | 35.25 |
| 40 | 71.20 | 10.85 | 75.60 | 24.40 |
| 60 | 21.00 | 3.20 | 70.80 | 21.20 |
| 100 | 58.40 | 8.89 | 87.69 | 12.31 |
| 200 | 33.40 | 5.09 | 92.78 | 7.22 |
| Posa N°200 | 47.38 | 7.22 | 100 | |
| Suma | 398.48 | | | |

ABSORCION DENSIDAD Y DESGASTE

| | | |
|---|--|--|
| PESO HUMEDO (P _h).....g (1) | | VOLUMEN (c.c. desalojados).....(4) |
| PESO SECO (P _s).....g (2) | | PESO SECO (P _s).....g (2) |
| AGUA ABSORBIDA --- (1)-(2)=(3) | | DENSIDAD RELATIVA APARENTE = $\frac{2}{4}$ |
| ABSORCION $\frac{(3)}{(2)} \times 100$ | | DESGASTE % |

$$U_{10} = 0.12$$

$$D_{60} = 4.7$$

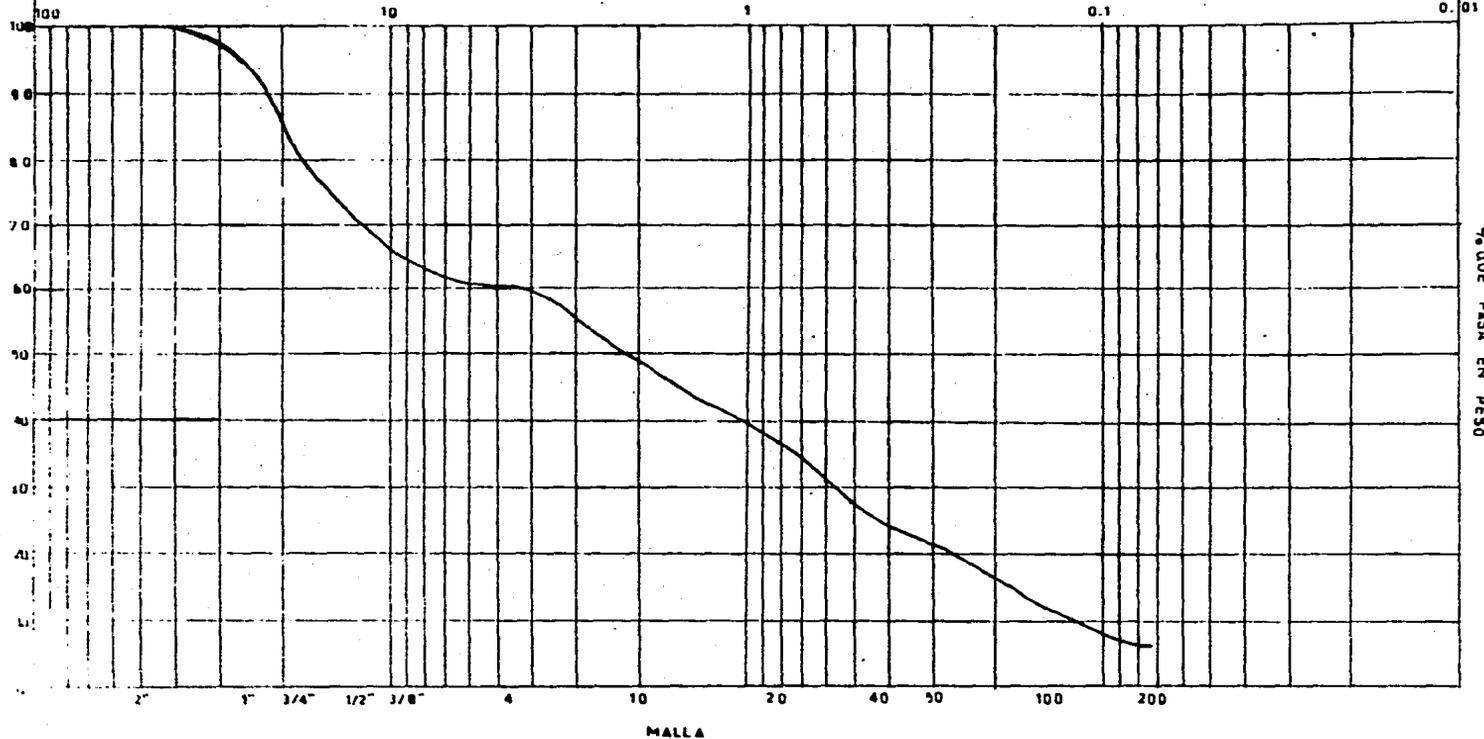
$$U_{30} = 0.36$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{4.7}{0.12} = 39.17$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{0.36^2}{0.12 \times 4.7} = 0.556$$

Clasificación S.U.C.S. SP-3M

DIAMETRO EN mm



% QUE PASA EN PESO

CALCULO:

1. Se suman los pesos retenidos en cada malla y se verifica ese peso total con el peso de la muestra que se colocó originalmente en el juego de mallas.

2. Se calculan los porcentajes del material retenido en cada malla respecto del peso seco de la muestra original.

3. Se determinan los porcentajes acumulados del material que ha pasado por cada malla restando del 100 % el porcentaje parcial retenido en la primera malla. A este valor se le resta el porcentaje parcial retenido en la segunda malla y así sucesivamente.

4. Al efectuar el análisis por mallas grandes, se conoce el porcentaje de material que pasa la malla No.4, respecto del total, multiplicando este valor por cada uno de los porcentajes parciales acumulativos menores que la malla No.4, se obtiene los porcentajes acumulados con respecto a la muestra total.

5. Con los valores obtenidos como porcentaje acumulado se construye la gráfica correspondiente, en donde se podrán determinar los coeficientes de uniformidad y curvatura, para así poder clasificar el suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

PRACTICA 6**GRANULOMETRIA EN SUELOS FINOS, METODO DEL HIDROMETRO****GENERALIDADES:**

El metodo del hidrómetro se basa en la aplicación de la ley de Stokes a una esfera que cae libremente en un líquido.

EQUIPO:

Hidrómetro graduado para medir pesos específicos relativos calibrado a 20 grados centígrados y con escala de 0.995 a 1.060
 Probeta de 1000 centímetros cúbicos
 Cronómetro para tomar tiempo de reposo
 Termómetro graduado en 0,1 grados centígrados
 Balanza de 0.01 grs de aproximación
 Agitadora eléctrica
 Vaso de precipitado
 Defloculante

PROCEDIMIENTO:**CALIBRACION DEL MATRAZ**

La calibración de un hidrómetro consiste en la determinación, para un aparato dado, de la verdadera altura de caída (H) en función de las lecturas realizadas.

1. Determine el volumen del bulbo del hidrómetro V_h , midiendo el volumen de agua desplazada, despreciando el volumen del vástago.
2. Determine el área A de la probeta de 1000 cm³ que se vaya a usar en la prueba.
3. Mida las distancias de la marca de calibración inferior del vástago a cada una de las otras marcas. (R_h)
4. Mida las distancias desde el extremo superior del bulbo a la marca de calibración inferior del vástago. La distancia H_1 , correspondiente a una lectura R_h , es la suma de las mediciones hechas en tres y cuatro.
5. Se mide la distancia desde el extremo inferior al superior del bulbo. Esta medida se anota como h, altura del bulbo.
6. Calcule las verdaderas alturas H, correspondientes a cada marca de calibración en el vástago, R_h , con la fórmula:

$$H = H_1 + 1/2 \left(h - \frac{V_h}{A} \right)$$

7. Se dibuja en una curva la relación H-Rh. Esta curva servirá para dibujar la escala Rh a la derecha de la H, en el nomograma para solución de la ley de Stokes.

SUELOS ARCILLOSOS

1. Se pesa una cantidad de suelo con su contenido natural de agua que equivalga aproximadamente a 40 grs de material seco.

2. Añada 0.5cm³ de solución de silicato de sodio a 40grados Baumé a 300 cm³ de agua destilada y mézclese una parte con el suelo, de modo que, trabajado con espátula, alcance este la consistencia de una pasta suave.

3. Transfiera la pasta fabricada a la agitadora eléctrica y se añade el resto de la solución defloculante. Se debe agitar al menos 15 minutos.

4. Determine la corrección por el cambio en la densidad del agua (Cd) debido a la adición del defloculante. La corrección se calcula añadiendo a 1000 cm³ de agua destilada, en una probeta graduada, la cantidad de defloculante que vaya a usarse, introduciendo un hidrómetro y haciendo una lectura. La diferencia entre esta lectura y otra previamente hecha en agua destilada es la corrección Cd

5. Pase la suspensión de suelo a una probeta graduada de 1000cm³ añadiendo agua destilada para completar exactamente los 1000 cm³.

6. Agite la probeta vigorosamente por lo menos durante un minuto invirtiéndola frecuentemente, tapada con la mano.

7. Inmediatamente coloque la probeta en una mesa fija, éche a andar un cronómetro e introduzca el hidrometro sujetándolo hasta un poco mas abajo de su nivel de flotación; después se suelta dejándolo libre. El hidrómetro permanecerá en la suspensión durante dos minutos, haciendo lecturas en períodos de 1/2, 1 y 2 minutos. Tras esto se retira suavemente el aparato, se sumerge en agua limpia y se seca. Siguiendo el mismo procedimiento háganse lecturas a los 4, 8, 15 y 30 minutos, una, dos y cuatro horas, y después una o dos veces al día, siempre retirando el hidrómetro después de cada lectura. La introducción y extracción del hidrómetro debe hacerse muy suavemente, disponiendo unos 10 segundos cada operación. De vez en vez, lave el vástago del hidrómetro con solución jabonosa, para permitir en cada lectura la completa formación del menisco. Antes de cada inmersión limpie el hidrómetro con un paño.

La temperatura de la prueba no debe variar de la temperatura a que se hizo una medida en mas que ± 2 grados C, a fin de tener una garantía de que el error en la determinación del diámetro equivalente no sobrepase de un 2%. Se logra este requerimiento si la máxima diferencia de temperatura en el cuarto que se efectúe la prueba no sobrepasa a 8grados C. Debe tenerse en cuenta que un calentamiento no

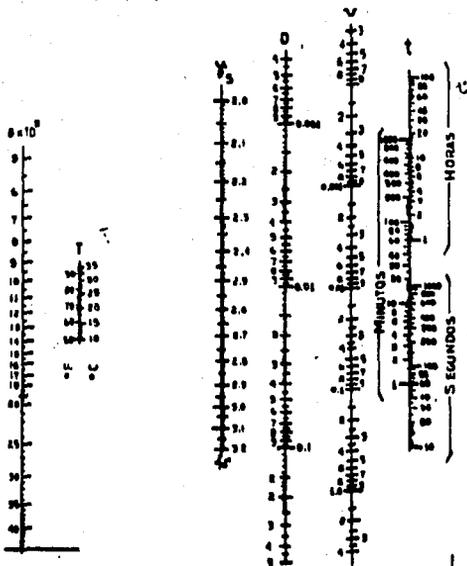
uniforme de la suspensión producirá corrientes de convección que afectan la sedimentación, por ello la probeta no debe estar al sol ni cerca de un horno.

Tapando la probeta entre cada dos lecturas se ayudará a impedir la evaporación de la suspensión.

8. Al concluir la prueba, determine el peso seco del suelo contenido en la suspensión, pasando esta a un recipiente evaporador y dejándolo en el hasta que pierda el agua. Añadiendo al recipiente unas gotas de ácido clorhídrico y agitando suavemente se logra en menor tiempo, que la suspensión se precipite y que el agua arriba quede clara; esta agua puede retirarse con una pipeta, acelerando así el proceso de evaporación.

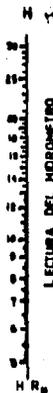
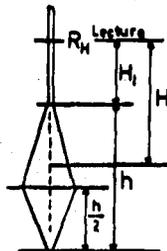
NOMOGRAMA DE CASAGRANDE PARA LA SOLUCION DE LA LEY DE STOKES

- η - Viscosidad del líquido, en gr. seg. cm²
- γ - Peso específico de las partículas
- γ_0 - Peso específico del líquido
- v - Velocidad, en cm. seg¹
- D - Diámetro de las partículas, en mm
- T - Temperatura^o
- H - Altura, en cm
- t - Tiempo, en seg

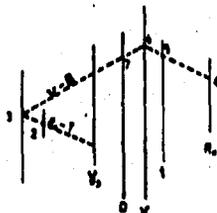


o Promedio estimado desde el principio de la prueba hasta el momento en que se hace la lectura del hidrómetro

DISENO DE LA ESCALA (R_M)



CLAVE



ARAGON

LEY DE STOKES

$$D = \sqrt[3]{\frac{v}{\gamma - \gamma_0}}$$

$$D = \frac{1000 v}{\gamma - \gamma_0}$$

$$v = \frac{H}{t}$$

La altura H que corresponde a la lectura R_M determinada

$$H = H_0 \left(\frac{h}{2} \right) \frac{\text{Volumen del bulbo del hidr.}}{\text{area de la probeta}}$$

CONSTANTE

El debe determinarse para diferentes valores de R_M. Los valores correspondientes de R_M deben cobrirse del lado derecho de la escala (H₀) haciendo las subdivisiones convenientes.

Así superiores de nivel en agua pura utilizarse cualquier hidrómetro que mida pesos específicos relativos entre 0.995 y 1.045 con 10000 de aproximación.

Se sugieren calibrados, en pesos específicos relativos a 20°C.

Bulbo aerodinámico, H.Mds. = 14 a 16 cm.

h = 19 a 17 cm.

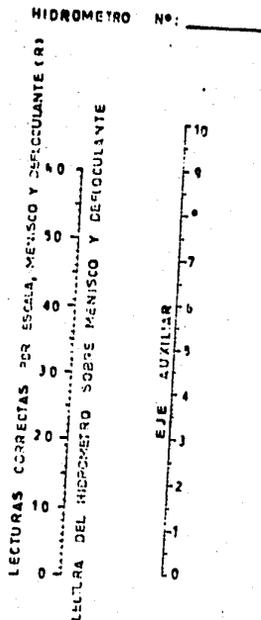
para líquidos diferentes al agua los valores de (H₀) deben dividirse.

Las escalas (V₀) y (T) se aplican solamente a suspensiones en agua.

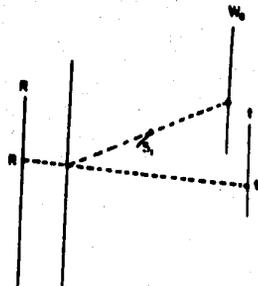
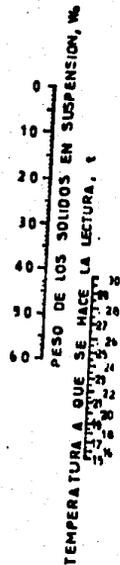


LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

NOMOGRAMA PARA OBTENER EL PESO DE SOLIDOS EN SUSPENSION PARA EL ANALISIS HIDROMETRICO



20
15
10
5
DENSIDAD S₂



CLAVE

FORMULAS EMPLEADAS

$$W_0 = (0.623 R + m_p) \frac{S}{S-1}$$

$$m_p = 1000 (t_0 - T_0 - a_0 (t_0 - t_0))$$

- R lectura del hidrómetro corregida por menisco
- S₂ densidad de sólidos de la muestra
- T temperatura a la que se hace la lectura
- t₀ temperatura de calibración; 20°C
- t densidad del agua a la t₀ = 0.9982
- T₀ densidad del agua a la temp. de operación
- a₀ coeficiente de dilatación volumétrica del vidrio

GRAFICA DE CORRECCION POR TEMPERATURA PARA

36

E. N. E. P.
ARAGON

HIDROMETROS CALIBRADOS EN PESO ESPECIFICO RELATIVO

LABORATORIO DE
COMPORTAMIENTO
DE SUELOS

A LA TEMPERATURA



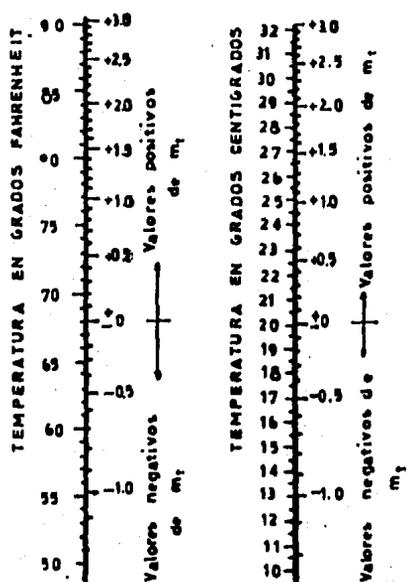
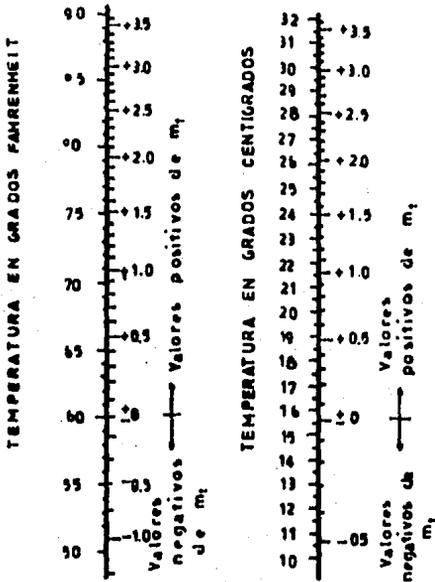
I $T_c = 60^\circ E = 15.6^\circ C$

II

III

$T_c = 68^\circ F = 20^\circ C$

IV U. N. A. M



NOTA: $W\%$ FRACCIÓN QUE CONTIENE
TODAS LAS PARTÍCULAS MENORES QUE
EL TAMAÑO DE PARTÍCULA CORRESPON-
DIENTE, EN PORCIENTO DE LA MUESTRA
TOTAL. (W_s)

DEBE CALCULARSE CON LA ECUACIÓN

$$W\% = \frac{S_w w}{S_w + 1} \frac{100}{W_s} (R_H + m_1 - C_d)$$

S_w = Peso específico relativo de las
partículas sólidas del suelo.

$$R_H = (r_H - 1) 10^3$$

r_H = Lectura peso específico relativo
en el hidómetro.

C_d = Corrección en el peso específico
relativo de la suspensión.

M = Corrección por temperatura.

w = Peso específico del agua = 1.0 en
el sistema métrico

ERRORES POSIBLES.

1. Empleo de un agente de dispersión inadecuado o concentración inadecuada.
2. Insuficiente agitación de la probeta antes de la prueba.
3. Interferencia en el proceso de sedimentación debida a la cantidad excesiva de sólidos en la suspensión.
4. Desarrollo incompleto del menisco. El vástago del hidrómetro debe estar completamente limpio.
5. Diferencias de temperatura en la probeta o variaciones excesivas de la temperatura ambiente (es conveniente llevar un registro de temperaturas en el laboratorio, por lo menos la mínima y la máxima diaria).
6. Turbulencias en la suspensión debidas a la falta de cuidado en la inserción y remoción del hidrómetro.
7. Pérdidas de material al transferir la suspensión al recipiente evaporador despues de la prueba.

PRACTICA 7**DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LA PARTE SOLIDA DE UN SUELO****GENERALIDADES.**

El peso específico relativo de la parte sólida de un suelo mejor conocida como densidad de sólidos, es la relación entre el peso de los sólidos y el peso de volumen de agua que desalojan.

El valor de la densidad, que queda expresado por un número abstracto, además de servir para fines de clasificación, interviene en la mayor parte de los cálculos de Mecánica de Suelos.

El valor de la densidad varía entre límites estrechos (2.60 a 2.90). Los minerales de arcilla que constituyen un suelo pueden tener un peso específico promedio comprendido entre 2.80 y 2.90. En algunas arcillas volcánicas, tal como sucede en el Valle de Mexico, suelen encontrarse valores más bajos entre 2.2 y 2.6. Así pues es normal que en un suelo real los minerales de las fracciones muy finas y coloidal tengan su peso específico relativo mayor que los minerales de la fracción más gruesa.

OBJETIVO:

Obtener el peso específico relativo de la parte sólida del suelo muestreado como un parámetro índice de posterior empleo.

EQUIPO:

Matraces con marca de aforo, de 500 cm³
 Balanza con capacidad de 800grs y precisión nominal de 0.01grs
 Termómetro con precisión de 0.1 grados centígrados de aproximación.
 Solución para disolver grasas: mezcla crómica
 Alcohol de 96°
 Eter sulfúrico
 Agua destilada o desmineralizada
 Vaso de precipitado
 Estufa
 Horno de temperatura constante (105 gradoc C)
 Piseta
 Pipeta
 Embudo de vidrio de conducto largo
 Toallas de papel
 Desecador
 Cápsulas de porcelana o vidrio refractario
 Mortero de porcelana con su martillo
 Sistema de vacío, si se cuenta con ella sino bastará con hervir el agua.

Los matraces deben ser calibrados, para obtener datos precisos ya que el peso del agua que un matraz puede contener, varía con la temperatura ésto se debe, por una parte a que los cambios de temperatura provocan variaciones en el volumen del recipiente y por otra parte se modifica la densidad del agua. Por lo tanto es conveniente formar para cada uno de los matraces una gráfica de calibración, o sea una curva que tenga por ordenadas los pesos del matraz con agua hasta la marca de aforo y las abscisa las temperaturas correspondientes.

PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACION DEL MATRAZ:

1. Se limpia el matraz con alguna solución que disuelva las grasas esta puede ser amoniaco o bien una mezcla crómica que se prepara disolviendo en caliente 60grs de bicromato de potasio comercial en 300 cm³ de agua y una vez fría la solución se le agrega muy lentamente sin dejar de agitar, 460 cm³ de ácido sulfúrico comercial.

Debe procederse con cuidado, tratando de escurrir el ácido sulfúrico por las paredes del recipiente donde se este preparando la mezcla, pues la reacción que se provoca al contacto con la solución es violenta y si no se toma las precauciones debidas, puede resultar peligroso.

Esta mezcla tiene la ventaja de poder recuperarse despues de cada lavado y usarse varias veces.

Enseguida se enjuaga el matraz varias veces y se deja escurriendo colocado con la boca hacia abajo. Después se lava con alcohol, se deja escurrir y luego se lava con éter; los vapores de éter se eliminan colocando el matraz con la boca hacia abajo durante unos 15 o 20 min.

2. Se llena el matraz con agua destilada hasta la marca de aforo y se pone a hervir de 5 a 10 min en baño maría, o bien si se tiene el sistema de vacíos se puede combinar ambos a fin de eliminar el aire.

3. Se retira el matraz del baño maría y se toma la temperatura al 0.1 de grado de aproximación introduciendo el termómetro hasta el centro del matraz. Si la temperatura es elevada deben promediarse las lecturas del termómetro en tres puntos de la masa del agua.

4. Con la ayuda de una pipeta se hace coincidir perfectamente la parte inferior del menisco con la marca de aforo, enseguida se seca el interior del cuello con una toalla de papel doblada y se limpia exteriormente el matraz y se pesa al 0.01 gramos de aproximación en la balanza de precisión.

5. Se deja enfriar el matraz, hasta que la temperatura del agua baje unos 5 grados; se afora se toma la temperatura a 0.01 grados C de aproximación y se vuelve a pesar. Esta operación se repite de seis a ocho veces, dejando cada vez más el matraz.

6. Se construye una gráfica en papel milimétrico con los datos de la temperatura y los pesos del matraz mas agua hasta la marca de aforo.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA EN SUELOS ARCILLOSOS:

1. Pése suelo húmedo en cantidad suficiente como para tener aproximadamente 80 grs de sólidos.

2. Colóquese el suelo en una cápsula y añádase agua destilada, mezclando hasta obtener una pasta suave.

3. Colóquese la pasta en una batidora con agua destilada hasta formar aproximadamente 250 cm³ de una suspensión uniforme, para lo cual suele bastar un lapso de 15 min de agitación.

4. Llenese el matraz con la suspensión hasta 0.5 cm abajo de la marca de enrase aproximadamente, y dejese reposar durante unos minutos.

5. Póngase a hervir la suspensión a fin de eliminar el agua atrapada en las partículas, si se cuenta con dispositivo de vacío mejor.

6. Con un cuentagotas lléguese hasta la marca de aforo.

7. Mídase la temperatura. Esta será la temperatura de prueba.

8. Séquese bien el cuello del matraz y el exterior, y proceda a pesar el matraz obteniendo así, W_{fw}

9. Vacíese todo el contenido del matraz en un vaso y déjese reposar. Decántese lo más que pueda y séquese el material para obtener W_s.

10. El peso del matraz lleno con agua a la temperatura de prueba se obtendrá de la curva de calibración del matraz.

11. La densidad de sólidos será:

$$S_s = \frac{W_s}{W_{fw} + W_s - W_{fsw}}$$

Donde: W_s = Peso de sólidos, obtenida después de secar el material
 W_{fw} = Peso del matraz con agua, obtenida de la curva de calibración del matraz, con la temperatura de prueba.

W_{fsw} = Peso del matraz con suelo y agua obtenida en el paso 8.

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

42

ODRA: _____

E. N. E. P.

LOCALIZACION: _____



PESO ESPECIFICO
RELATIVO

SONDEO N°: 1

FECHA: 1985

OPERADOR: A.M.G

CALCULISTA: C.H.L

MUESTRA N°: 1 PROF.: .60 m

DESCRIPCION: muestra inalterada cubica

| Prueba N° | 1 | 2 | |
|-----------------------------------|-------|--------|--|
| Matraz N° | M1 | M2 | |
| W _{15w} (gr.) | 693 | 689.5 | |
| Temperatura (°C) | 59 | 49 | |
| W _{1w} (gr.) | 676.5 | 663.78 | |
| Cápsula de evaporación N° | a | b | |
| Peso cápsula + muestra seca (gr.) | 632 | 255.10 | |
| Peso capsula (gr.) | 605 | 210.0 | |
| W _s (gr.) | 27 | 45.10 | |
| S _s | 2.38 | 2.33 | |

W_{15w} = Peso del matraz + agua + muestra a 1°C

W_{1w} = Peso del matraz + agua a 1°C (de la curva de calibración del matraz)

W_s = Peso del suelo seco

S_s = Peso específico relativo de los sólidos = $\frac{W_s}{W_s + W_{1w} - W_{15w}}$

Obs.: Muestreo realizado en la zona federal del lago de Texcoco

ERRORES POSIBLES

1. Remoción incompleta del aire no disuelto. Esta es la principal fuente de error y conduce a subestimar la densidad de sólidos del material. Si la muestra contiene materia orgánica, es frecuente que se formen gases cuando entra en contacto con el agua. En este caso, es conveniente combinar la aplicación del vacío con la ebullición de la suspensión en un baño maría.

2. Secado defectuoso del interior del cuello o del exterior del matraz. Este error puede ocurrir especialmente cuando se está calibrando el matraz con agua a una temperatura inferior a la temperatura inferior a la temperatura ambiente, debido al agua que se condensa en el exterior del matraz.

3. Precisión insuficiente de las pesadas. La mayoría de las balanzas son con capacidad mayor de 500 grs, no tienen sensibilidad de 0.01 grs. La misma balanza debe usarse para la calibración del matraz y para pruebas subsecuentes de determinación de la densidad de sólidos.

4. Falta de cuidado al llenar el matraz aforado exactamente hasta la marca de calibración, (una gota de agua tiene un volumen aproximado de 0.04 cm³), este error puede reducirse tomando el promedio de varias lecturas a la misma temperatura.

5. Temperatura del matraz y su contenido no uniforme. Es importante verificar la uniformidad de la temperatura en diversos puntos de la suspensión así como dejar transcurrir un mínimo de tiempo entre las mediciones de temperatura y las pesadas del matraz.

6. Pérdidas de material durante la prueba. Si el peso de los sólidos se obtiene al final de la prueba, es importante evitar que se pierda material durante la transferencia de la suspensión al recipiente en el que se deje secar.

7. Falta de limpieza del matraz. Si el matraz no se conserva limpio su curva de calibración deja de ser válida. El cuello del matraz debe encontrarse en perfecto estado de limpieza para permitir el desarrollo completo del menisco.

8. Empleo de agua con sólidos disueltos. Es importante usar exclusivamente agua destilada o desmineralizada para que la curva de calibración del matraz sea válida.

PRACTICA B

COMPACTACION DE SUELOS. PRUEBA PROCTOR ESTANDAR

GENERALIDADES.

Se entiende por compactación al proceso de aumento rápido del peso volumétrico seco, mediante la aplicación de carga transitoria de corta duración. Es conveniente compactar un suelo para incrementar la resistencia al esfuerzo cortante, reducir la deformabilidad, la permeabilidad y la susceptibilidad a la erosión de los suelos por el agua.

El acomodo de las partículas, en un suelo que se ha tratado de mejorar, no solo depende de las características del dispositivo que se usó para compactarlo, sino fundamentalmente de la humedad que se le da al material. Si las partículas están secas la fricción intergranular opone una resistencia mayor al desplazamiento relativo entre ellas que se encuentran lubricadas por una película de agua; por lo contrario, si la masa tiene una humedad elevada el agua llena vacíos que podrían ser ocupados por partículas en un arreglo más denso.

Ahora bien, los métodos usados para la compactación de los suelos, depende del tipo de los materiales con los que se trabaje en cada caso; y así tenemos que los materiales puramente friccionantes, como la arena, se compactan eficazmente por métodos vibratorios, en tanto que los suelos plásticos el procedimiento de carga estática resulta el mas ventajoso, en la práctica estas características se reflejan en los equipos disponibles para el trabajo tales como: plataformas vibratorias, rodillos lisos, neumáticos o "patas de cabra".

De entre todos los factores que influyen en la compactación obtenida en un caso dado, podría decirse que dos son los mas importantes: El contenido de agua del suelo antes de iniciarse el proceso de compactación, mismo punto que ya se trato, y la energía específica empleada en dicho proceso.

Por energía específica se entiende la energía de compactación suministrada al suelo por unidad de volumen.

$$E_e = \frac{NnWh}{V}$$

Siendo: N= Número de golpes por capa
 n= Número de capas de suelo
 W= Peso del pisón
 h= Altura de caída libre del pisón
 V= Volumen del suelo compactado

Actualmente existen muchos métodos para reproducir, al menos teóricamente, en el laboratorio unas condiciones dadas de compactación de campo, todos ellos pensados para estudiar, además, los distintos factores que gobiernan la compactación de los suelos. De acuerdo con la historia, el primer método en el sentido de la teoría actual es el debido a Raymond Próctor.

Esta prueba se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen así como la resistencia a la penetración de un suelo que ha sido compactado anteriormente y por métodos definidos, para distintos contenidos de humedad.

La prueba tiene por objeto lo siguiente:

a.) Determinar el peso volumétrico máximo que puede tener el material analizado, así como la humedad óptima a que deberá hacerse la compactación.

b.) Determinar el grado de compactación, entendiéndose como grado de compactación la relación en porcentaje entre el peso específico seco obtenido en la obra, y el máximo especificado en el laboratorio para tal obra, alcanzado por el material durante la construcción o en terracerías ya construidas.

Se sabe que, para una energía de compactación dada, el máximo peso volumétrico seco del suelo compactado se obtiene con el contenido de agua óptimo.

La función de las pruebas de compactación de laboratorio es permitir la especificación racional y control de los trabajos de campo, mediante el estudio de las propiedades mecánicas de los suelos compactados. A continuación se presenta uno de los procedimientos de compactación de mayor uso en la actualidad.

PRUEBA PROCTOR ESTANDAR.

La prueba próctor estándar consiste en compactar, en un molde rígido metálico, un cierto número de capas sucesivas de suelo con un determinado número de golpes, uniformemente distribuidos, de un martillo con peso, dimensiones y caída libre especificados.

OBJETIVO:

El alumno conocerá uno de los métodos más utilizados para controlar la compactación de un suelo obteniendo la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo.

EQUIPO:

Charolas de lámina (taras)
Cápsulas de vidrio
Probetas graduadas
Enrasador

Cucharón
Espátulas
Brocas
Franelas
Grasa
Vernier
Balanza
Horno.

PROCEDIMIENTO:

La prueba próctor, está limitada a los suelos que pasan totalmente la malla No. 4 y no deberá efectuarse en las arenas de los ríos, arenas de mina, arenas producto de una trituración, tezontles francamente arenosos y en general, todos aquellos materiales que carecen de cementación.



Realización de la prueba
Proctor estándar

1. Se toma una muestra de suelo y se pasa por la malla No. 4, a continuación, se pesa la muestra resultante aproximadamente 4 kgs.

2. Se pesa el molde sin la extensión y también se obtiene el volumen interior de éste.

3. Se agrega agua a la muestra y se revuelve, la masa resultante se pasa al molde próctor llenándolo en tres capas y compactando cada una de ellas con 25 golpes del pisón.

4. Se quita la extensión del molde y si al hacerlo la muestra no se separa, es decir no se rompe, entonces la muestra esta lista para la continuación de la prueba.

5. Una vez que se quita la extensión del molde y la muestra no se separa, se engrasa esta y se procede a pesar el molde junto con la muestra.

6. Se quita un poco de muestra y se coloca en una capsula de vidrio, de preferencia del centro, debidamente numerada, para obtener la humedad de esta primer prueba.

7. Se repiten los pasos 3 al 6 hasta que el peso baje dos o tres veces mas de un máximo, será pues repetir la prueba cinco o seis veces.

8. Los resultados se anotan en la hoja diseñada especialmente para el cálculo.

9. Se procede a hacer una gráfica teniendo como abscisa a escala natural al contenido de agua y como ordenadas a escala natural los pesos volumétricos secos. De esta gráfica cuyo máximo es el peso volumétrico seco máximo y la abscisa correspondiente a este máximo la humedad óptima.

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

E. N. E. F.

ARAGON

48



U. N. A. M.

OBRA : _____
 LOCALIZACION: _____
 ENSAYE N°: _____ SONDEO N°: _____
 DESCRIPCION: _____

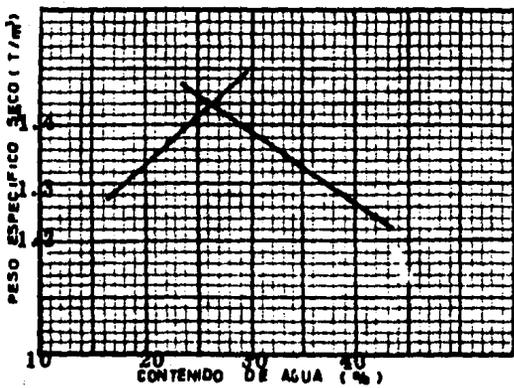
COMPACTACION

Tipo de prueba: Proctor estandar
 Molde N°: 1 vol: 999.89 peso: 4292 gm
 PESO Martillo: 2500 gr Altura caída: 30.5 cm
 N° de capas: 3 N° de golpes por capa: 25

FECHA: _____
 OPERADOR: M.H.L
 CALCULISTA: M.H.L

| PRUEBA N° | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|
| Peso molde + suelo húmedo (gr) | 5975 | 6017 | 6097 | 6089 | | | | |
| Peso molde (gr) | 4292 | 4292 | 4292 | 4292 | | | | |
| Peso suelo húmedo (gr) | 1683 | 1725 | 1805 | 1797 | | | | |
| Peso específico húmedo (T/m ³) | 1.68 | 1.73 | 1.80 | 1.8 | | | | |
| Cápsula N° | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | |
| Peso cápsula + suelo húmedo (gr) | 131.9 | 151.1 | 117.9 | 158 | | | | |
| Peso cápsula + suelo seco (gr) | 114 | 128.4 | 97.7 | 127 | | | | |
| Peso del agua (gr) | 17.9 | 22.7 | 20.2 | 31 | | | | |
| Peso cápsula (gr) | 33.3 | 33.5 | 24.3 | 24.1 | | | | |
| Peso suelo seco (gr) | 80.7 | 94.9 | 73.4 | 92.9 | | | | |
| Contenido de agua (%) | 22.18 | 23.92 | 27.52 | 33.37 | | | | |
| Peso específico seco (T/m ³) | 1.37 | 1.39 | 1.42 | 1.35 | | | | |
| Relación de vacíos: e | | | | | | | | |

$$\text{Peso específico seco} = \frac{\text{Peso específico húmedo}}{1 + \text{Contenido de agua}}$$



DATOS SOBRE SATURACION

G_w = 100% _____

G_w = 80% _____

$\gamma_d = \frac{S_s \cdot \gamma_s}{1 + e}$

OBSERVACIONES: _____

MHL

ERRORES POSIBLES.

1. Incompleta disgregación de los grumos del suelo seco
2. Mezclado defectuoso del suelo y del agua. No es posible obtener resultados consistentes a menos que el suelo y el agua se mezclen cuidadosamente y se deje transcurrir el tiempo suficiente para que el suelo absorba el agua uniformemente.
3. Distribución no uniforme del esfuerzo de compactación sobre la superficie de cada capa.
4. Molde de compactación descansado sobre una superficie inadecuada.
5. Muestras de contenido de agua no representativas de la totalidad del suelo compactado. En caso de duda puede determinarse la humedad de todo el material del molde.
6. Determinación de un número de puntos insuficiente para definir, en forma aceptable, el contenido de agua óptimo y el peso volumétrico seco correspondiente en la curva de compactación.
7. Uso repetido de la misma muestra para determinación de diferentes puntos, la compactación incrementa el peso volumétrico máximo y reduce el contenido de agua óptimo para la mayoría de los suelos.
8. Influencia del operador. Cada operador tiene su forma propia de realizar la prueba, especialmente en cuanto a velocidad de aplicación y repartición del esfuerzo de compactación.

PRACTICA 9

DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO DE CAMPO

GENERALIDADES.

La obtención del peso volumétrico de campo es una medida que se debe tomar en cuenta para el control de compactación en una obra determinada.

La compactación se controla por el grado de compactación, que es una relación entre el peso volumétrico seco máximo obtenida en laboratorio, y el obtenido en el campo:

$$Gc = \frac{PVsc}{PVsm} \times 100$$

Donde: Gc = Grado de compactación

PVsc = Peso volumétrico seco de campo

PVsm = Peso volumétrico seco máximo obtenido en laboratorio

OBJETIVO:

El alumno al haber obtenido datos de la prueba de compactación anterior, podrá compararlos en el campo por medio del grado de compactación, cuyo procedimiento se muestra a continuación.

PROCEDIMIENTO:

1. La prueba consiste en excavar una cala (pozo) en el terraplen, para materiales finos que pasan por la malla No. 4 de 15 centímetros de diámetro o de lado y 15 centímetros de profundidad o igual al espesor de la capa de suelo.

2. Para materiales con agregado grueso hasta de 2.54 centímetros (1") será necesario hacer la determinación únicamente del peso volumétrico del material menor del tamaño indicado. En este caso todo el material extraído de la excavación deberá cribarse por la malla de 2.54 cms (1") y el retenido deberá colocarse dentro de la arena al tiempo que se vaya vaciando esta dentro de la excavación. En esta forma quedará cubicado el volumen el volumen de material que pasa la malla ya mencionada. Esta porción deberá pesarse para calcular el peso volumétrico, al mismo tiempo se determinará el contenido de agua del material.

3. El peso volumétrico seco se calcula dividiendo el peso de los sólidos secos contenidos en la cala entre el volumen de la misma.

4. El volumen de la cala puede determinarse con arena de Ottawa,

que pasa la malla No. 20 (0.84mm) y es retenida en la malla No.30 (0.59mm) o cualquier uniforme de granos redondeados cuya granulometría sea parecida a la arena de Ottawa.



El volumen de la cala se obtiene conociendo el volumen de arena que cabe en ésta. El volumen de arena se saca por medio del aparato mostrado.

PRACTICA 10**DETERMINACION DEL INDICE DE PERMEABILIDAD. PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE****GENERALIDADES.**

H. Darcy estableció la ley que rige el flujo del agua a través de los suelos expresandola de la siguiente manera:

$$Q = K i A$$

En donde:

- Q = Gasto que pasa a traves de la muestra
- K = Coeficiente de permeabilidad
- i = Gradiente hidraulico
- A = Area de la seccion transversal de la muestra

Siendo válida la siguiente expresion cuando el escurrimiento es laminar.

Ahora bien, el coeficiente de permeabilidad K depende del tamaño o forma que componen al suelo, de la relacion de vacíos, del grado de saturación, del contenido de materia orgánica y de la temperatura y solubilidad de sus elementos. Resultando dicho coeficiente distinto para cada tipo de suelo, es necesario determinarlo experimentalmente, mediante pruebas de permeabilidad. En un caso en particular,

Con objeto de establecer una base comparativa, es conveniente expresar el coeficiente de permeabilidad refiriendolo a la temperatura de 20 grados C. Si se conoce el valor de K a cualquier temperatura T, su valor sera :

$$K = \frac{M}{20} \frac{t}{M} \frac{K}{20} t$$

Siendo:

M=Viscosidad del agua. Los valores de Mt/M20 para diferentes temperaturas aparecen en forma de gráfica en la lamina y tabulador en la tabla.

Las pruebas de laboratorio para la determinación de la permeabilidad se efectuan utilizando aparatos especiales que pueden ser de carga constante, de capilaridad horizontal, de carga variable y permeámetro consolidómetro.

La prueba con permeámetro de carga variable se utiliza para detreminar el coeficiente de permeabilidad de suelos relativamente impermeables, tales como las arcillas, limos con arcillas y mezclas de arena.

El coeficiente de permeabilidad para estos suelos varía de 10 a la menos cuatro, a 10 a la menos nueve cms/ seg.

El aparato usado es un permeámetro de carga constante al cual se le agrega una tapa superior provista de dos tubos, uno de sarán, por donde se alimenta el agua y el otro de vidrio que funciona como piezómetro con el cual se miden las cargas y los volúmenes de agua que se filtran a través de la muestra.

Con el fin de conocer con precisión el área interior del piezómetro se vierte dentro de él una cantidad de agua conocida, se mide la longitud del tubo que se lleno con ella y dividiendo el volumen entre la longitud, se tiene el área interior media. El diámetro del piezómetro se elegirá de acuerdo con el orden de magnitud de la permeabilidad del suelo que se vaya a ensayar.

Es indispensable que la temperatura del agua permanezca lo más uniforme posible entre una lectura y otra; esto a veces se logra introduciendo los permeómetros en un recipiente con agua.

El agua que sirve para hacer la determinación en el laboratorio debe ser desaireada.

OBJETIVO:

El alumno sabra el procedimiento a seguir, para determinar el índice de permeabilidad de un suelo arcilloso.

EQUIPO:

Permeámetro de lucita o latón; diámetro interior 5cms, longitud 10cms.
 Tapa de lucita o de latón con piezómetro calibrado
 Dispositivo de compactación
 Tapón de madera para apoyo de la muestra al compactarla
 Pizon metálico de 2.5 cms de diámetro y 500 grs de peso
 Guía de lamina galvanizada de 20 cms
 Cronómetro
 Malla de No. 100

PROCEDIMIENTO:

1. Se toma un permeámetro previamente numerado, calibrado y pesado, anotando estos datos en la hoja de cálculo.
2. Se sujeta el permeámetro en el dispositivo de compactación.
3. Se prepara el material procurando darle la humedad óptima con 24 hrs de anticipación guardandolo en un frasco tapado, se compacta en tres capas de 1cm de espesor dándole el número necesario en cada capa para obtener una relación de vacíos uniformes y aproximada a la próctor. Para determinar el número de golpes por capa se puede emplear la siguiente fórmula:

$$E = \frac{W_o H_o N}{V_c}$$

Donde: E = Energía de compactación en Kg - cm /cm

W_o = Peso del martillo en Kgs

H_o = Altura de caída en cms

N = Número total de golpes

V_c = Volumen total de la probeta compactada en cms

Teniendo en cuenta los datos del equipo anteriormente descritos y con una E = 7.5 kg-cm/cm, usual en prueba próctor tenemos:

W_o = 0.5 Kgs

Diámetro probeta = 6 cms

H_o = 20.0 cms

Altura probeta = 3.0 cms

Volumen probeta = 3.0 x 5.0 x 0.7854 = 58.9 cms³

Despejando de la fórmula N tenemos:

$$N = \frac{E V_c}{W_o H_o} ; N = \frac{7.5 \times 58.9}{0.5 \times 20.0} = \frac{44.75}{10} = 44.18 \text{ golpes}$$

Teniendo en cuenta que se compacta en tres capas el número de golpes por cada una sera:

$$N = \frac{44.18}{3} = 14.73$$

Por lo cual deben de darse 15 golpes por cada capa.

4. Con el mismo pisón se nivela la superficie de la muestra procurando que el espesor sea lo mas uniforme posible limpiandola perfectamente.

5. Se mide la longitud inicial (L_i) y se anota en la hoja de cálculo, se pesa el permeámetro con la muestra húmeda y se anota su valor en peso muestra húmeda =Tara de la hoja de cálculo.

6. Se coloca el permeámetro en el recipiente donde se va hacer la prueba poniendole la tapa con su piezómetro calibrado. Se procede a llenarlo con agua desaireada del sistema procurando sacar todas las burbujas de aire, por el tornillo de escape. Es conveniente tener un volumen grande de agua para que las variaciones de temperatura en el permeámetro sean pequeña y no afecten la lectura.

7. Se carga el piezómetro y se hace fluir el agua a lo largo del tubo dos o tres veces, durante varios días para saturar el material y establecer el regimen teniendo cuidado de no dejar que el nivel baje tanto que pueda permitir la entrada del aire.

8. Se fijan tres marcas en el piezómetro y se miden cuidadosamente sus distancias al nivel libre del agua en el recipiente. Este nivel se mantiene constante con un vertedor. La distancia entre las marcas varia de diez a 40 cms², dependiendo de la permeabilidad del material.

9. Para principiar a tomar las lectura se llena un poco más arriba de la primera marca y cuando el nivel del agua pase por dicha marca (h) se toma la hora (t) y la temperatura (T₂) anotándolo juntamente con la fecha, en la hoja de cálculo.

10. Se espera el tiempo necesario para que el agua del piezómetro descienda y pase por la marca (h₂) se toma nuevamente la hora (t₂) y la temperatura (T₂) anotándose junto con la fecha en la hoja de cálculo.

11. Estas determinaciones se repiten tantas veces como sea necesario para obtener un valor constante de la permeabilidad.

12. Una vez terminada la prueba se desconecta el permeómetro del sistema, se mide la altura final (L_f) de la pastilla y se anotan todas las observaciones hechas durante la prueba.

13. Se saca el material del permeómetro, se colocan en una cápsula tarada y numerada, se pesa y se anota con resultado en peso muestra húmeda mas tara, se introduce al horno para su secado, se saca del horno y se pesa.

CALCULO.

1. Se procede a calcular el contenido de humedad (w) tanto de la muestra como del testigo, el peso volumétrico y las relaciones de vacíos inicial y final, para lo cual se sustituye en la fórmula:

$$e = \frac{V_{S5} - w_5}{w_5} \quad \text{el V por } V_i \text{ y } V_t \text{ respectivamente}$$

2. Se calcula la columna At, que es el tiempo transcurrido de t a t₂ convertida en seg, o sea tiempos transcurridos.

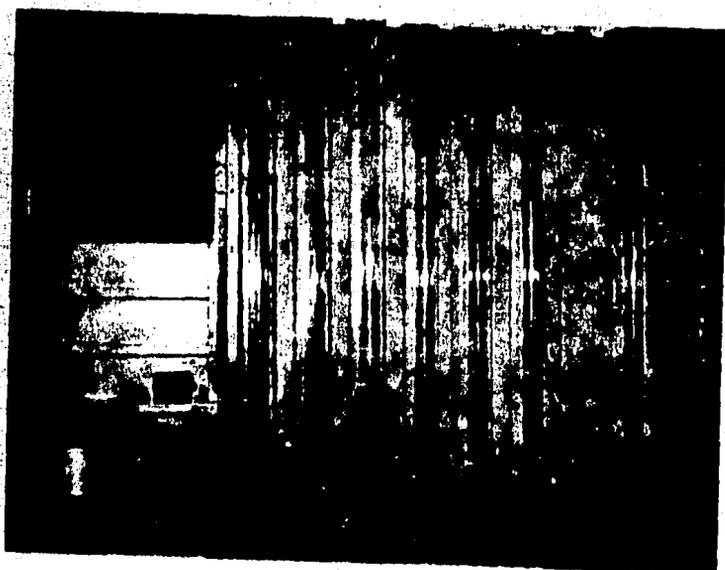
3. La siguiente columna se obtiene dividiendo h₁/h₂

4. La columna P se calcula teniendo en cuenta la formula :

$$P = \frac{2.3L_0}{A} \log_{10} \frac{h_1}{h_2} = k At$$

5. La columna Kt se obtiene dividiendo el valor de p entre A_c y expresando el cociente en 10 a la menos 4 cms/seg

6. La columna K20 se calcula en la forma anteriormente explicada.



Prueba de permeabilidad en su procedimiento

PRACTICA 11

PRUEBA DE COMPRESION SIMPLE

GENERALIDADES.

La prueba de compresión simple es la más usada en los laboratorios de Mecánica de Suelos para los trabajos de rutina. Esta prueba tiene la ventaja de ser de fácil realización de exigir equipo relativamente sencillo. Sin embargo una correcta interpretación de sus resultados es más difícil que en el caso de las pruebas triaxiales si se desea ir al fondo de los mecanismos de falla que tienen lugar; por el contrario los resultados de la prueba son de fácil aplicación a los trabajos de rutina por lo menos en apariencia pero es recomendable que las conclusiones que se deriven de esta prueba vayan siempre sancionadas por un especialista.

La prueba queda circunscrita a arcilla y suelos cohesivos pues en las arenas y suelos arenosos no es posible el labrado de las muestras.

OBJETIVO:

El estudiante estará en posibilidad de determinar la cohesión, parámetro muy importante en un suelo arcilloso, con los resultados de esta práctica.

EQUIPO:

Báscula de carga u otro aparato que cubra sus fines
Cortador para el espécimen
Segueta de alambre
Recipiente para la determinación de contenido de agua
Extensómetro
Balanza

PROCEDIMIENTO:

1. Cortense prismas de unos 5cms de lado de base y unos 12 o 13 cms de longitud de la arcilla inalterada. Con un cortador y una segueta de alambre afínese los especímenes hasta su forma definitiva cilíndrica de 3.6 cms de diámetro de base, y 9 cms de altura. El material producto de labrado debe conservarse protegiéndolo de secado.

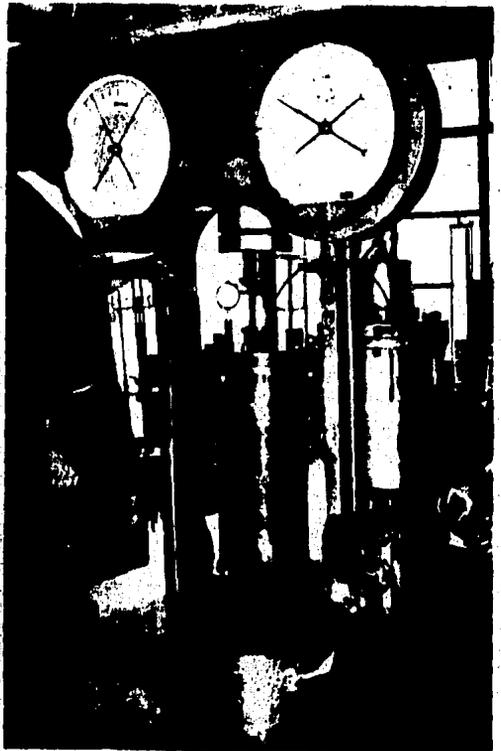
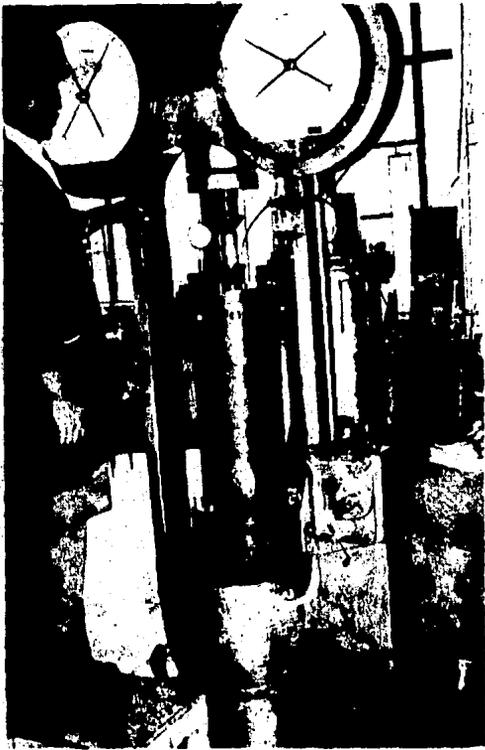
2. Colquese sobre la plataforma de la báscula de carga una placa metálica redonda, con dos brazos verticales entre los que va el puente para instalar el extensómetro; sobre esa base colquese una placa destinada a soportar directamente el espécimen.

3. Centrese bien el espécimen bajo el marco móvil, cuidando que el balín transmisor resulte perfectamente axial. accionese manualmente la palanca que mueven el marco móvil hasta lograr el contacto con el cabezal de la muestra a través del balín; este se hace notorio por un pequeño desplazamiento de la aguja de la carátula de la báscula, la

cual deberá de colocarse en cero otra vez accionando ligeramente en sentido inverso el mismo control manual.

4. Montese el extensómetro y ajustese su carátula en lectura de cero.

5. Conectese el mecanismo eléctrico de la báscula y echese a andar el mecanismo de aplicación de cargas simultaneamente con un cronómetro. El marco de carga desciende ahora a una velocidad uniforme, comprimiendo al espécimen contra la plataforma, con lo cual la carátula de la báscula marcara las cargas aplicadas progresivamente



6. Deberán hacerse lecturas de la carga aplicada a cada milímetro de deformación, según indicación del extensómetro. Esta frecuencia puede variarse de acuerdo por la mayor o menor rigidez del espécimen, en los especímenes más rígidos es recomendable una frecuencia mayor. En la velocidad de deformación es frecuentemente es de 1mm/min sin embargo, pueden precisarse velocidades menores cuando se prueben muestras muy rígidas de manera que la prueba dure un tiempo comprendido entre los 5 y 10 min ya señalados.

7. Conforme la muestra se acerque a la falla deberá ser observada cuidadosamente para detectar sus grietas, planos de falla u otros puntos de interés.

8. Por lo general la falla del espécimen está señalada por un regreso en la aguja de la carátula de la báscula, tanto mayor cuando la falla sea más típicamente frágil. El instante en que esto ocurra debe ser registrado. Después deberá continuarse haciendo lecturas en la forma normal hasta obtener algunos valores para la curva esfuerzo-deformación en la zona adelante de la carga máxima. La prueba deberá suspenderse al alcanzar la muestra una deformación unitaria del orden del 20%. Si no se define una falla típica, deberá también suspenderse la prueba al llegar al mismo límite de deformación.

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

61

E. N. E. P.

APAGÓN

OBRA: _____

LOCALIZACION: _____

COMPRESION SIMPLE

SONDEO Nº: _____ ENSAYE Nº: _____

MUESTRA Nº: _____ PROF: _____

DESCRIPCION: _____

FECHA: _____

OPERACION: _____

CALCULISTA: _____



U. N. A. M.

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

D₁: _____ cm A₁: _____ cm² W₁: _____ gr
 D₂: _____ cm A₂: _____ cm² V₁: _____ cm³
 D₃: _____ cm A₃: _____ cm² m³: _____ l / m³
 H₁: _____ cm A₁ * A₂ * A₃ = _____ cm³

VELOCIDAD DE APLICACION DE LA CARGA: _____

| TIEMPO TRANSCURRIDO | CARGA | LECTURA EXTENSOMETRO | DEFORMACION TOTAL | DEFORMACION UNIFORMITARIA | DEFORMACION UNIFORMITARIA | AREA CORREGIDA | ESFUERZO | CONTENIDO D' AGUA | |
|------------------------|-------|-------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|----------|----------------------------|----|
| | | | | | | | | mm | kg |
| | | | | | | | | Peso cap ^s . h. | |
| | | | | | | | | Peso cap ^s . s. | |
| | | | | | | | | Peso agua | |
| | | | | | | | | Peso capsula | |
| | | | | | | | | Peso suelo seco | |
| | | | | | | | | W % | |
| | | | | | | | | OBSERVACIONES: | |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|--------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| ESFUERZO | Kg/cm ² | [Grid for plotting stress-strain data] | | | | | | | | | |
| | | [Grid for plotting stress-strain data] | | | | | | | | | |
| | | [Grid for plotting stress-strain data] | | | | | | | | | |
| | | [Grid for plotting stress-strain data] | | | | | | | | | |
| | | [Grid for plotting stress-strain data] | | | | | | | | | |
| | | [Grid for plotting stress-strain data] | | | | | | | | | |
| | | [Grid for plotting stress-strain data] | | | | | | | | | |
| | | [Grid for plotting stress-strain data] | | | | | | | | | |
| | | [Grid for plotting stress-strain data] | | | | | | | | | |
| | | [Grid for plotting stress-strain data] | | | | | | | | | |

NOTA: AREA CORREGIDA = $\frac{A_M}{P-DEF.UNI.}$
 ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

DEFORMACION UNITARIA %

OBSERVACIONES: _____

ERRORES POSIBLES.

1. La elección de la magnitud de los incrementos de carga aplicados o de la velocidad de aplicación de la carga pueden influir en la forma de la curva esfuerzo-deformación y en el valor de la resistencia última.

2. El labrado del espécimen y la prueba deben realizarse en un cuarto húmedo para evitar evaporación.

3. Por un ajuste impropio de la base o el cabezal con el espécimen pueden tenerse errores en las lecturas del extensómetro y en la verticalidad de las muestras; en arcillas duras y frágiles es aconsejable cabecear los especímenes de la prueba.

PRACTICA 12

PRUEBA DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

GENERALIDADES.

Los materiales que se utilizan en ingeniería, al aplicarles fuerzas exteriores, sufren deformaciones, produciendo una relación de esfuerzo-deformación. A un suelo saturado al que se le aplican fuerzas exteriores se le provoca una deformación, pero esta no es instantánea en este caso, se produce un retraso de la deformación respecto al esfuerzo, como se explica a continuación y por lo tanto se tiene una relación esfuerzo-deformación-tiempo.

Cuando a un suelo saturado se le somete a un incremento de carga la acción de esta se transmite, en un principio, al agua que llena los poros del material por ser el líquido incompresible, comparado con la estructura que forma las partículas sólida del suelo. Debido a la presión que de este modo se induce en el agua, esta fluye hacia las fronteras en las cuales dicha presión se disipa produciendo variaciones en el volumen del material y la transferencia de la carga a la estructura sólida. La velocidad con que se produce este fenómeno es conocido en Mecánica de Suelos con el nombre de consolidación y depende de la permeabilidad del suelo, al igual que otras condiciones geométricas y de frontera. En las arcillas francas, que representan uno de los límites, el proceso es muy lento; mientras que en una capa de arena limpia que resulta ser el límite opuesto, el retardo hidrodinámico con el que se transfieren los esfuerzos aplicados a la estructura, es muy pequeño. Tratándose de grandes masas de arena y de cargas aplicadas rápidamente, el fenómeno debe tomarse en consideración, tal es el caso de una presa construida con arena saturada por filtración y sujeta a los efectos de un sismo.

La prueba de consolidación estándar consiste en comprimir verticalmente un espécimen del material que se estudia, confinado en un anillo rígido, siguiendo una secuencia de cargas establecidas de antemano. En todos los casos y para cada incremento de carga el espécimen sufre una deformación correspondiente al retraso hidrodinámico que se llama consolidación primaria y también sufre una deformación adicional debida a un fenómeno secundario que en las arcillas se llama retraso plástico y en las arenas retraso friccional. EN general el suelo se deformara siempre una cantidad mayor que la correspondiente al retraso hidrodinámico exclusivamente. Sin embargo, el retraso hidrodinámico es el único que toma en cuenta la teoría de la consolidación, según la teoría, solo es posible un fenómeno de consolidación cuando existe escape agua hacia el exterior de la masa del suelo. En la práctica se admite que también se genera un proceso similar en masas de suelo que están cien por ciento saturadas. En estos casos se explica también la teoría de la consolidación teniendo presente que se trata de una interpretación aproximada.

Simultáneamente con el proceso de consolidación, se puede efectuar o no según se juzgue conveniente, una prueba de permeabilidad de carga variable, o bien, reproducir una condición hidrodinámica adicional como la que originaría una presión artesiana.

De la prueba de consolidación se obtienen los coeficientes que se indican:

1. El coeficiente de compresibilidad A_v , que representa la relación deformación-esfuerzo, sin tomar en cuenta el tiempo y que geográficamente es igual a la pendiente de la curva relación de vacíos-presiones. La expresión matemática es:

$$A_v = \frac{\Delta e}{\Delta p} \text{ cm}^2/\text{kg}$$

Donde; e = la relación de vacíos
 Δp = incremento de presión

OBJETIVO:

Determinar la curva de consolidación para un suelo muestreado en los terrenos de la ENEP Aragón.

EQUIPO:

Consolidómetro, incluyendo anillo para la ubicación de la muestra, piedras porosas
 Micrometro
 Cortadores para labrar el espécimen
 Cronómetro
 Cápsulas
 Horno
 Balanzas
 Termómetro
 Algodón hidrófilo

PROCEDIMIENTO:

1. Se determina y anota el peso del anillo y dos placas de vidrio aproximadamente de 15 cm por lado.

2. Se coloca una muestra de arcilla inalterada en el anillo de consolidación y con la ayuda de una sierra de alambre o un cortador se hace introducir ésta en el anillo.

3. Una vez adentro la muestra de suelo en el anillo se cortan las partes que sobresalgan de ésta tanto en la parte superior como en la inferior.

Se colocan placas de vidrio tanto en la parte superior como en la inferior, ya pesadas, pésese el conjunto.

4. Anote una muy cuidadosa y detallada descripción de la muestra.

5. Se retiran con mucho cuidado las placas de vidrio y en su lugar se centran las piedras porosas, ya saturadas, presionándolas para que se adhieran a la muestra. Se coloca ahora el anillo dentro de la cazuela. Cuidando que el anillo no sufra ningún movimiento una vez adentro.

6. Se coloca un anillo de algodón hidrófilo alrededor del anillo de consolidación para evitar pérdidas de humedad.

7. Con mucho cuidado se transportara la cazuela a la plataforma del banco de consolidación y se centra la piedra porosa con respecto al marco de carga.

8. Balancéese la palanca de carga.

9. Se coloca el micrómetro, atornillando el puente que lo sostiene y poniéndolo en contacto con el marco de carga.

10. El procedimiento de carga comenzará a partir de este momento y a cada incremento de carga que sera tal que deberá de duplicarse ésta, se tomarán lecturas a los 15, 30, 60 seg, 2, 4, 8, 15, 30, 60min, 2, 4, 8, 16hrs y así sucesivamente.

11. Para saber si ya se debe de incrementar la carga se deberá dibujar la curva de consolidación, en escala semilogarítmica dejando como abscisas al tiempo transcurrido, y como ordenadas las lecturas del micrometro una vez que aparezca el tramo recto que define a la consolidación secundaria se debiera duplicar la carga actuante.

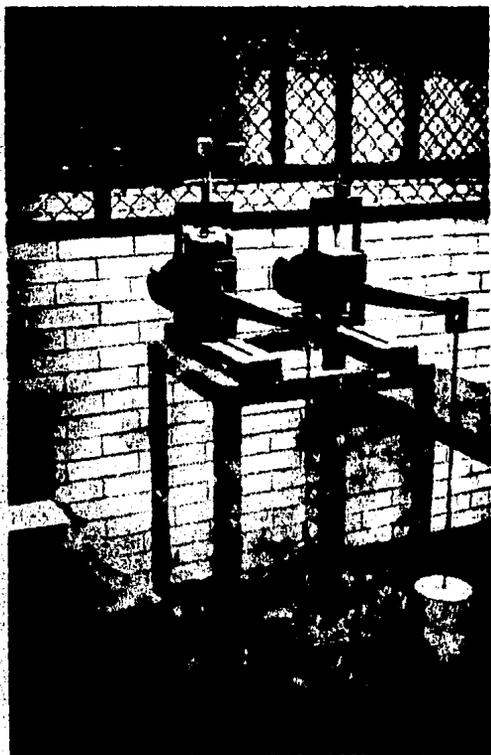
12. La etapa de carga terminará, cuando al obtener de las curvas de consolidación un lectura del micrometro que caiga en el tramo de consolidación secundaria para todas las curvas y a un tiempo igual, se dibuje a escala semilogarítmica, presión-lecturas del micrometro esté otra vez en un tramo recto.

13. Una vez concluida la etapa de carga, conociendolo por el paso 12, se quitará la carga en decrementos, haciendo lecturas para cada decremento igual que en los incrementos, dibujando la curva de consolidación invirtiendo la escala de las lecturas del micrómetro.

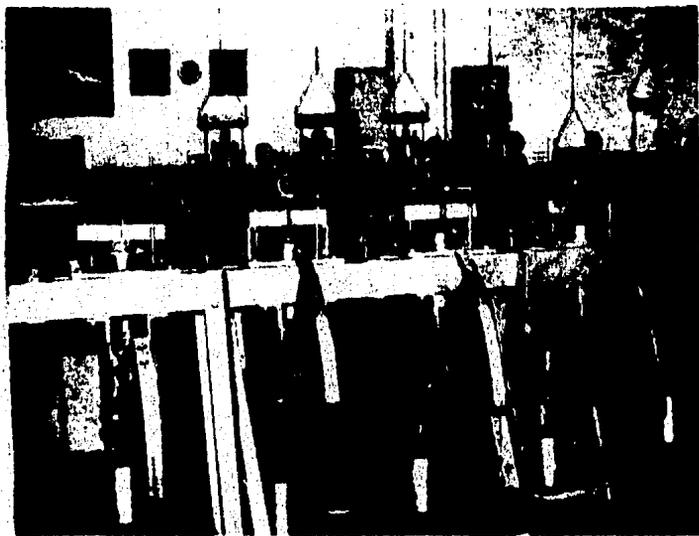
14. Despues de retirar toda la carga se tiene que permitir que la muestra se expanda descargada durante 48 hrs.

15. Al terminar la prueba retire el micrómetro y desarme el consolidómetro. Cuidadosamente seque el anillo y coloquense dos placas de vidrio, las mismas ya pesadas, y pese el conjunto (anote el dato como tara mas suelo húmedo).

16. Séquese la muestra en horno y se obtiene el peso seco.



Consolidómetro en la ENEP A.



CALCULO.

1. Se ejecuta los cálculos indicados en la forma de contenidos de agua y cálculos. Estos conducen a la determinación de los contenidos de agua inicial y final del espécimen y de la altura de sólidos, "Hs". Esta última cantidad juntamente con la altura original del espécimen "H1" se usa en el cálculo de las relaciones de vacíos correspondientes a las lecturas del micrómetro registradas en la forma de resumen de datos y calculo. El propósito de cálculo de los grados de saturación al principio y al final de la prueba es el de obtener una verificación de la exactitud de los datos observados y registrados. El grado de saturación de una arcilla inorgánica inalterada es por lo general muy cercano al cien por ciento. Si el grado de saturación calculado al principio de la prueba varía apreciablemente de cien por ciento, ello puede indicar la presencia de gas o aire en la muestra o un error en los datos o cálculos efectuados. Cuando una muestra está totalmente saturada al principio de la prueba, ciertamente lo estará al final de ella. El cálculo de grado de saturación final requiere tomar en cuenta el cambio de altura del espécimen que tiene lugar del principio al fin de la prueba; esta dado por la variación neta de lecturas inicial y final del micrometro. Por lo tanto un valor inapropiado el grado de saturación calculado puede indicar un error en las lecturas micrométricas registradas.

2. Regístrese en la forma de resumen de datos y cálculos, los datos ahí especificados. La duración de la prueba es el tiempo total transcurrido desde la aplicación del incremento de carga inicial al momento en que se hace la lectura micrométrica final. El intervalo de tiempo entre incrementos de carga usado en los calculos es el tiempo arbitrariamente escogido, para el cual se completa la consolidación primaria en todos los incrementos de carga.

3. La corrección por compresión del aparato de la forma de resumen de datos y cálculos se obtiene de la curva de calibración a la que ya se ha hecho referencia.

4. Dibuje la curva de compresibilidad en trazo semilogarítmico, en la forma indicada.



OBRA: _____

LOCALIZACION: _____

ENSAYE N° _____ SONDEO N° _____

MUESTRA N° _____ PROF: _____

DESCRIPCION: _____

CONSOLIDACION

(Registro de Carga)

CONSOLIDOMETRO N° _____ 1

FECHA: 14-21 X OPERADOR : C.S. CALCULISTA : C.H.L.

| FECHA | TIEMPO | TEMPERATURA °C | CARGA Kg | TIEMPO DE LECTURA TRANS DEL MI | | |
|-------|----------|-------------------|-------------|-----------------------------------|----------|-------|
| | | | | CURRIDO | CROMETRO | |
| | Hrs. min | | | min | mm | |
| 14X | 11:07 | | 1/2 | 15" | 20.409 | |
| | 11:07 | | | 30" | 20'39 | |
| | 11:08 | | | 1' | 20.376 | |
| | 11:09 | | | 2' | 20.361 | |
| | 11 11 | | | 4' | 20.345 | |
| | 11 15 | | | 8' | 20.331 | |
| | 11 22 | | | 15' | 20.321 | |
| | 11 37 | | | 30' | 20.315 | |
| | 12 07 | | | 1° | 20.31 | |
| | 13 07 | | | 2° | 20.301 | |
| | 15 07 | | | 4° | 20.287 | |
| | 19 07 | | | 8° | 20.28 | |
| | 15 | 19 22 | | 1 | 15" | 20.25 |
| | | | | | 30" | 20.24 |
| | | | | 1' | 20.23 | |
| | | | | 2' | 20.22 | |
| | | | | 4' | 20.205 | |
| | | | | 8' | 20.195 | |
| | | | | 15' | 20.175 | |
| | | | | 30' | 20.160 | |
| 20 22 | | | | 1° | 20.140 | |
| 8 22 | | | | 13° | 20.115 | |
| 9 03 | | | 1340' | 20.115 | | |
| 9 30 | | | 14°8' | 20.110 | | |
| 9 36 | | | 2 | 15" | 20.060 | |
| | | | | 30" | 20.050 | |
| | | | | 60" | 20.038 | |
| | | | | 2' | 20.019 | |

| FECHA | TIEMPO | TEMPERATURA °C | CARGA Kg | TIEMPO DE LECTURA TRANS DEL MI | | |
|-------|---------|-------------------|-------------|-----------------------------------|----------|--------|
| | | | | CURRIDO | CROMETRO | |
| | Hrs min | | | min | mm | |
| 15 | 9:40 | | 2 | 4' | 19'089 | |
| | 9:44 | | | 8' | 19.08 | |
| | 9:51 | | | 15' | 19.027 | |
| | 10:06 | | | 30' | 19.875 | |
| | 10 36 | | | 1° | 19.83 | |
| | 11 36 | | | 2° | 19.775 | |
| | 17:36 | | | 4° | 19.701 | |
| | 19 36 | | | 8° | 19.633 | |
| | 16 | 8 50 | | | 23° | 19.58 |
| | | 9 20 | 20°C | 4 | 15" | 19.515 |
| | | | | 30" | 19.495 | |
| | | | | 1' | 19.48 | |
| | | | | 2' | 19.43 | |
| | | | | 4' | 19.37 | |
| | | | | 8' | 19.28 | |
| | | | | 15' | 19.18 | |
| | | | | 30' | 19.0 | |
| | | 10 20 | | | 1° | 18.76 |
| | 11 20 | | | 2° | 18.55 | |
| | 13 20 | | | 4° | 18.36 | |
| | 17 20 | | | 8° | 18.116 | |
| | 19 20 | | | 10° | 18.078 | |
| 17 | 13 07 | | | 15" | 17.87 | |
| | | | | 30" | 17.834 | |
| | | | | 1' | 17.782 | |
| | | | | 2' | 17.699 | |
| | | | | 4' | 17.583 | |
| | | | | 8' | 17.402 | |
| | | | | 15' | 17.186 | |
| | | | | 30' | 16.861 | |
| | | | | 60' | 16.489 | |

OBSERVACIONES: _____

OBRA: _____
 LOCALIZACION: _____
 ENSAYE N° _____ SONDEO N° _____
 MUESTRA N° _____ PROF: _____
 DESCRIPCION: _____

E. N. E. P



70

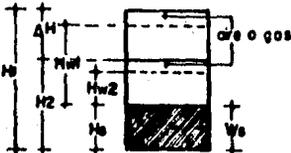
CONSOLIDACION

(contenidos de humedad y cálculos)

FECHA: 25-X-85 OPERADOR: C.S. CALCULISTA: C.H.

| DETERMINACION DE W | AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA | | AL FINAL DE LA PRUEBA | |
|---------------------------------|---------------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| Anillo y vidrio N° | 554.80 | | 524.75 | |
| Tara peso suelo húmedo | 74.60 | | 524.75 | |
| Tara peso suelo seco | 51.10 | | 472.91 | |
| Peso del agua | 23.50 | | 51.84 | |
| Tara | 34 | | 412.91 | |
| Peso suelo seco: W _s | 17.10 | | 60.00 | |
| Contenido de agua: W % | W ₁ = 137.42 | W ₁ | W ₂ = 86.4 | W ₂ |
| W% Promedio: | W ₁ = 137.42 | | W ₂ = 86.4 | |

Anillo N°: 1 Diámetro del anillo: 7.98 cm Área del anillo: 50.014 cm²
 Altura del anillo = Altura de la muestra al principio de la prueba, H₁: 199 mm



Peso específico relativo de sólidos: S_s = 2.35
 Altura de sólidos: H_s = $\frac{10 W_s}{A S_s} = \frac{10(60.6)}{50.01(2.35)} = \underline{51.56}$ mm

Variación en la altura de la muestra del principio al final de la prueba: ΔH = 6.209 mm

Altura final de la muestra: H₂ = H₁ - ΔH = $\frac{199 - 6.209}{1} = \underline{192.791}$ mm
 Altura inicial del agua: Hw₁ = W₁ H_s S_s = $\frac{.137 \times 51.56 \times 2.35}{1} = \underline{166.50}$ mm
 Altura final del agua: Hw₂ = W₂ H_s S_s = $\frac{.864 \times 51.56 \times 2.35}{1} = \underline{104.68}$ mm
 Relación de vacíos inicial: e₁ = $\frac{H_1 - H_s}{H_s} = \frac{199 - 51.56}{51.56} = \underline{2.854}$
 Relación de vacíos final: e₂ = $\frac{H_2 - H_s}{H_s} = \frac{192.79 - 51.56}{51.56} = \underline{2.739}$
 Grado de saturación inicial: Gw₁ = $\frac{H_w}{H_0 - H_s} = \underline{\quad\quad\quad}$ %
 Grado de saturación final: Gw₂ = $\frac{H_w}{H_2 - H_s} = \underline{\quad\quad\quad}$ %

En el cálculo de relaciones de vacíos únanse los valores siguientes

H_s = 51.56 mm H₁ = 199 mm

OBSERVACIONES: _____

ERRORES POSIBLES.

1. La muestra debe estar lo mas inalterada que sea posible, muestras alteradas daran resultado erróneos.

2. El volumen de la muestra debe ser exactamente el del anillo de consolidación, de otra manera no existirá confinamiento lateral completo.

3. Las muestras adyacentes tomadas para la determinación del peso específico relativo y de los límites de plasticidad pueden ser no representativas de la muestra de consolidación.

4. La muestra debe estar orientada en la misma direccion en que se encuentre en la naturaleza.

5. La muestra debe ser preparada en un cuarto húmedo.

6. La muestra no debe sumergirse antes de que la presión aplicada sea igual a las presiones existentes en ella, por efectos capilares.

7. Las pesas deben colocarse en la ménsula de carga cuidadosamente en la ménsula de carga esto implica una dificultad en aplicar la carga en un instante dado.

8. La temperatura varia a traves de toda la prueba.

9. Todas las lecturas de tiempo y las micrométricas deben efectuarse con cuidado.

10. Debe evitarse toda excentricidad en las cargas actuantes sobre la muestra.

PRACTICA 13**PRUEBA DIRECTA DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE****GENERALIDADES.**

El procedimiento consiste en la determinación rápida de los parámetros: ángulo de fricción interna y cohesión de un suelo.

Se considerará que los resultados de la prueba son confiables en arenas sueltas, obteniéndose resultados conservadores con arenas compactas.

La aplicación de la prueba a otros tipos de suelos diferentes de las arenas sueltas es posible, las características de resistencia de tales suelos, pero es conveniente realizar otro tipo de pruebas de resistencia con resultados mucho más confiables como las pruebas triaxiales que se describirán en la otra parte del trabajo.

OBJETIVO:

Determinar los parámetros ángulo de fricción interna y cohesión para un suelo arenoso.

EQUIPO:

Aparato de prueba directa
Un pisón para compactar el suelo
Balanza
Espátulas
Reglas metálicas
Cápsulas
Horno

PROCEDIMIENTO:

1. Deberá cortarse una muestra de, por lo menos 4 cm de espesor y unos 10 cms de diámetro. De esta muestra se forma un espécimen usando un anillo cortador de dimensiones apropiadas para el aparato en que se haya de hacer la prueba, las dos caras del espécimen se alisan cuidadosamente con espátula o regla metálica.

2. Mida las dimensiones de la caja del aparato en que se alojara el suelo.

3. Obtenga la carga muerta propia del aparato, que será el peso del mecanismo de carga cuando aplique carga normal nula. En ocasiones esta carga muerta se balancea con un mecanismo apropiado.

4. Coloque la muestra de arena en la caja del aparato. Una muestra de arena debe tener un espesor del orden de 1.0 a 1.5 cms, espesores mayores acentúan el fenómeno de falla progresiva y hacen que se obtengan resistencias menores. La superficie de la muestra deberá nivelarse cuidadosamente con una aditamentos apropiado.

5. Coloque una placa sobre el espécimen y, sobre ella, sitúe el mecanismo transmisor de presión normal.

6. Aplique la carga normal desanda.

7. Coloquen los extensómetros para medir las deformaciones normal y tangencial, anotando sus lecturas iniciales.

8. Verifique que no haya contacto entre los marcos fijo y móvil de la caja que contiene al suelo.

9. Iníciase el proceso de aplicación de la carga tangencial, haciendo lecturas de la carga aplicada y de las deformaciones normal y tangencial, a diversos tiempos.

10. Si la prueba es de esfuerzo controlado se tomaran lectura antes de la aplicación de cada nueva carga; si es de deformación controlada las lecturas se haran cada 15 seg durante los primeros dos minutos y, después, cada medio milímetro de deformación (en ocasiones basta hacer estas lecturas cada milímetro).

11. En la prueba de esfuerzo controlado el fin de la prueba es la falla del espécimen, en la deformación controlada el instante en que se alcanza una deformación del orden de un 15% de la longitud inicial de la muestra, a menos que se obtenga antes una fweza tangencial constante.

PRACTICA 14

PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL

GENERALIDADES.

Las pruebas de compresión triaxial, son las mas usadas en el laboratorio para determinar las características de esfuerzo-deformación y de resistencia de los suelos teóricamente, son pruebas que se podrian variar a voluntad las presiones actuantes en tres direcciones ortogonales sobre un espécimen de suelo, efectuando mediciones sobre sus características mecánicas en forma completa. Buscando sencillez en las pruebas que hoy se efectuan, los esfuerzos en dos direcciones son iguales.

Los especímenes son usualmente cilindricos y estan sujetos a presiones laterales de un líquido, del cual se protejen con una membrana impermeable para su debido confinamiento, la muestra se coloca en el interior de una cámara cilíndrica y hermetica.

La presión lateral que se ejerce con el líquido que llena la camara es normal por ser hidrostática, y por lo tanto, produce esfuerzos principales sobre la muestra (S_3). En las bases obra también naturalmente, esta misma presión, pero además en dichas bases actua el efecto de la carga transmitida por el vástago de la camara desde el exterior, que ejerce una presión S_1 que también es principal y vale : $S_1 = S_3 + P$.

Los tipos de prueba mas comunes en el laboratorio son:

- Prueba lenta
- Prueba rápida
- Prueba rápida consolidada.

Estudiaremos a continuación la prueba rápida.

En este tipo de pruebas no se permite ninguna etapa de consolidación de la muestra. La válvula de comunicación entre el espécimen y la bureta permanece siempre cerrada impidiendo el drenaje. EN primer lugar se aplica al espécimen una presión hidrostática, y de inmediato se hace fallar al suelo con la aplicación rápida de la carga axial.

OBJETIVO:

Introducir al estudiante al procedimiento básico para determinar los parámetros de ángulo de fricción interna y cohesión para cualquier tipo de suelo por medio de la prueba triaxial rápida.

EQUIPO:

Vernier

Malla No. 40
Charola
Molde tipo próctor
Pisón
Cabeceador
Membrana impermeable
Máquina de prueba de compresión triaxial
Cronómetro
Cálculo

Procedimiento:

1. De la muestra inalterada obtenida en el campo se cortan prismas del tamaño adecuado para obtener probetas cilíndricas de 3.6 cms de diámetro y 9.3 cms de altura, esto se logra utilizando el torno y cortador de arco con alambre o bien el cortador circular con cuchilla de 3.6 cms de diámetros.

2. De la muestra inalterada se labra un prisma cuyas bases sean paralelas, el cual se coloca en el torno procurando centrarlo y con el cortador de arco, que se desliza apoyando en las soleras del torno, se efectúan los cortes necesarios para ir formando la probeta cilíndrica.

3. Se hace girar el torno y se sigue cortando de la misma manera hasta lograr dar a la probeta la forma cilíndrica.

4. Se saca la probeta del torno y se coloca en el cabeceador para darle la altura indicada.

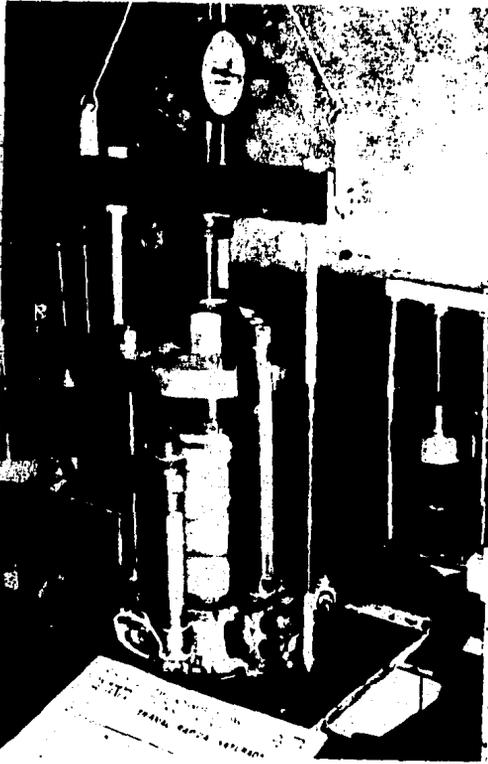
5. Se colocan los cilindros en las membranas impermeables poniéndole los cabezales de lucita y amarrando los extremos con ligas.

6. Se colocan los cilindros que se vayan a trabajar, uno a uno en la cámara de compresión y se tapa.

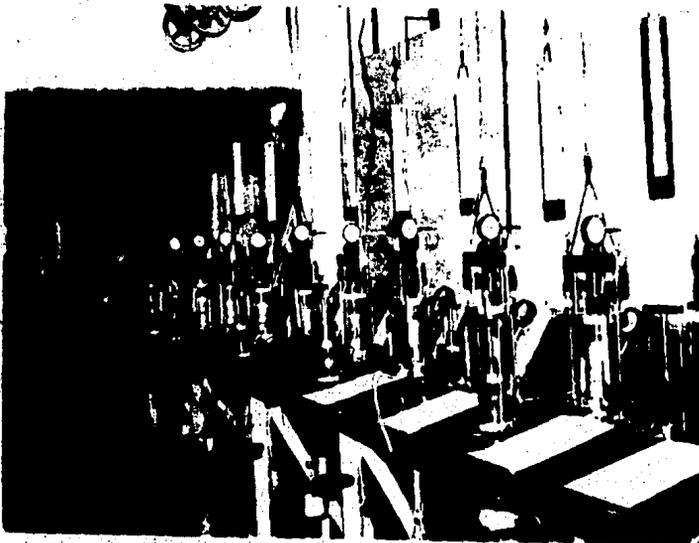
7. Se llena la cámara con agua a una presión determinada, proporcionándole de esta manera la presión de confinamiento.

8. Se incrementa la carga leyendo en los extremos y se toma el tiempo.

9. Se procede a la lectura de los extensómetros hasta que la muestra sufra una deformación del 20%.



Cámara triaxial con espécimen a prueba.



En esta foto podemos observar todo un juego de cámaras triaxiales, en el laboratorio de Mecánica de Suelos en Tecamachalco de la S.A. R.H.

CALCULO.

1. Para calcular la carga se multiplica por 0.144, que es un factor de corrección que proviene de una gráfica carga-deformación la cual para evitar lecturas en dicha gráfica se concluye el factor.

2. Para calcular la deformación se divide la lectura del extensómetro entre cien debido a que la aproximación de este está dado en 0.01

3. Para calcular la deformación unitaria, se divide la deformación entre la longitud de la muestra.

4. Para calcular el area corregida se usa la fórmula siguiente:

$$\text{Area corregida} = \frac{\text{Area de la muestra} = A_m}{1 - \text{deformacion unitaria} (A_c = 1 - \text{Def Unitaria})}$$

5. Para calcular el esfuerzo se usa la siguiente fórmula:

$$S1 - S3 = \frac{\text{Carga}}{\text{Area corregida}}$$

6. Teniendo los datos de los cilindros sometidos a la prueba se construye una gráfica esfuerzo- deformación y se procede a su vez a la construcción de los circulos de Mohr.

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

79
E. N. E. P.
ARAGON



U. N. A. M.

CARRA _____ COMPRESION
LOCALIZACION: _____ TRIAXIAL RAPIDA
SONDEO N°: _____ ENSAYE N°: _____
MUESTRA N°: _____ PROF: _____ FECHA: _____
DESCRIPCION: _____ OPERADOR: _____
MEDIDAS DE LA MUESTRA: _____ CALCULISTA: _____

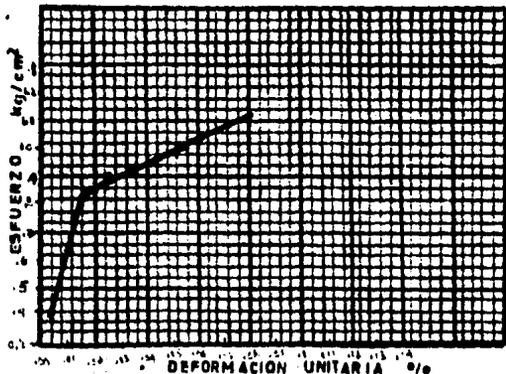
D_s: _____ cm A_s: _____ cm² W_i: _____ gr
D_c: _____ cm A_c: _____ cm² V_i: _____ cm³
D_i: _____ cm A_i: _____ cm² m²: _____ Ton/m³
W_n: 5.68 cm A_m: A_s · 4A_c · A_i : 10.323 cm²

VELOCIDAD DE APLICACION DE LA CARGA: _____ 0, = 1.5 kg/cm²

| TIEMPO TRANSCURRIDO | LECTURA CARGA | LECTURA DEFORMACION | DEFORMACION TOTAL | DEFORMACION UNITARIA | DEFORMACION UNITARIA | AREA CORREGIDA | ESFUERZO DESVIADOR | CONTENIDO DE AGUA | |
|------------------------|------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|--|--|
| mm | kg | mm | mm | mm | mm | cm ² | kg/cm ² | CAPSULA N° | |
| | 4.032 | 28 | 0.5 | .0088 | .9912 | 10.42 | .386 | PESO CAP. + S. M | |
| | 8.488 | 59 | 1.0 | .0176 | .9824 | 10.51 | .808 | PESO CAP. + S. S. | |
| | 9.648 | 67 | 1.5 | .0264 | .9736 | 10.61 | .909 | PESO AGUA | |
| | 9.792 | 68 | 2.0 | .0352 | .9648 | 10.70 | .914 | PESO CAPSULA | |
| | 10.368 | 72 | 2.5 | .0440 | .9560 | 10.80 | .959 | PESO SUELO SECO | |
| | 10.800 | 75 | 3.0 | .0528 | .9472 | 10.90 | .991 | W % | |
| | 11.376 | 79 | 3.5 | .0616 | .9384 | 11.01 | 1.034 | OBSERVACIONES: Prueba I | |
| | 11.952 | 83 | 4.0 | .0704 | .9296 | 11.11 | 1.078 | | |
| | 12.452 | 88.5 | 4.5 | .0792 | .9208 | 11.21 | 1.119 | | |
| | 12.960 | 90 | 5.0 | .0880 | .9120 | 11.32 | 1.143 | CAPSULA N° | |
| | 13.248 | 92 | 5.5 | .0949 | .9051 | 11.41 | 1.160 | PESO CAP + S. M | |
| | 13.680 | 95 | 6.0 | .1056 | .8944 | 11.55 | 1.188 | PESO CAP + S. S. | |
| | 14.112 | 98 | 6.5 | .1144 | .8856 | 11.66 | 1.210 | PESO AGUA | |
| | 14.400 | 100 | 7.0 | .1234 | .8766 | 11.77 | 1.228 | PESO CAPSULA | |
| | 14.976 | 104 | 7.5 | .1320 | .8680 | 11.89 | 1.260 | PESO SUELO SECO | |
| | 15.120 | 105 | 8.0 | .1408 | .8592 | 12.02 | 1.280 | W % | |
| 5'30.4 | 15.408 | 107 | 8.5 | .1456 | .8504 | 12.14 | 1.274 | | |
| | | | | | | | | OBSERVACIONES: sigue en la otra forma | |

NOTA: AREA CORREGIDA = $\frac{A_m}{1 - DEF. UNIT.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



OBSERVACIONES: _____

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

80

E. N. E. P.
ARAGON



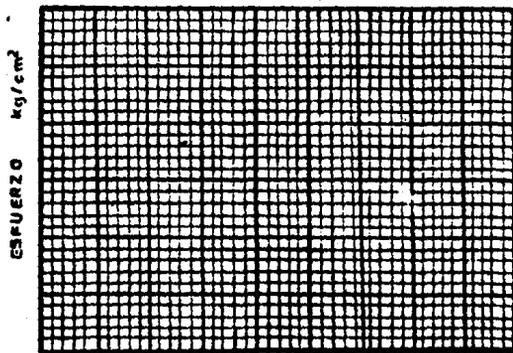
U. N. A. M.

OBRA: _____ COMPRESION
 LOCALIZACION: _____ TRIAXIAL RAPIDA
 SONDÉE N.º: _____ ENSAYE N.º: _____
 MUESTRA N.º: _____ PROF: _____ FECHA: _____
 DESCRIPCION: _____ OPERADOR: _____
 MEDIDAS DE LA MUESTRA: _____ CALCULISTA: _____

$D_c =$ _____ cm $A_c =$ _____ cm² $W_c =$ _____ gr
 $D_c =$ _____ cm $A_c =$ _____ cm² $V_c =$ _____ cm³
 $D_j =$ _____ cm $A_j =$ _____ cm² $m =$ _____ Ton/m³
 $H_m =$ _____ cm $A_m =$ $A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 =$ _____ : **10.323** cm²

VELOCIDAD DE APLICACION DE LA CARGA: _____ $\sigma_1 =$ 1.5 kg/cm²

| TIEMPO TRANSCURRIDO | LECTURA CARGA | LECTURA EXTENSION | DEFORMACION TOTAL | DEFORMACION UNITARIA | DEFORMACION UNITARIA CORREGIDA | AREA CORREGIDA | ESFUERZO DESVIADOR | CONTENIDO DE AGUA | |
|---------------------|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|--------------------------------|----------------|--------------------|---------------------------|--|
| | | | | | | | | CAPSULA N.º | |
| | 16.416 | 114 | 9.0 | .1584 | .8416 | 12.27 | 1.338 | PESO CAP. + S. H. | |
| | 16.704 | 116 | 9.5 | .1672 | .8328 | 12.40 | 1.347 | PESO CAP. + S. S. | |
| | 17.424 | 121 | 10.0 | .1766 | .8234 | 12.54 | 1.392 | PESO AGUA | |
| | 16.848 | 117 | 10.5 | .1852 | .8148 | 12.67 | 1.330 | PESO CAPSULA | |
| | 16.848 | 117 | 11.0 | .1936 | .8060 | 12.81 | 1.315 | PESO SUELO SECO | |
| | 17.136 | 119 | 11.5 | .2024 | .7976 | 12.94 | 1.323 | W % | |
| 2'12.2 | 17.28 | 120 | 12.0 | .2112 | .7888 | 13.09 | 1.321 | OBSERVACIONES: prueba! | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | CAPSULA N.º | |
| | | | | | | | | PESO CAP + S. H. | |
| | | | | | | | | PESO CAP + S. S. | |
| | | | | | | | | PESO AGUA | |
| | | | | | | | | PESO CAPSULA | |
| | | | | | | | | PESO SUELO SECO | |
| | | | | | | | | W % | |
| | | | | | | | | OBSERVACIONES: | |



NOTA: $AREA CORREGIDA = \frac{A_m}{1 - DEF. UNIT.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

• DEFORMACION UNITARIA %

OBSERVACIONES: _____

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

81

E. N. E. P.
ARAGON



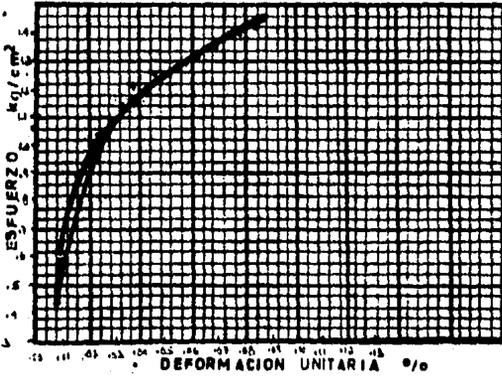
U. N. A. M.

OBRA: _____ COMPRESION
 LOCALIZACION: _____ TRIAXIAL RAPIDA
 SONDEO N°: _____ ENSAYE N°: _____
 MUESTRA N°: _____ PROF: _____ FECHA: _____
 DESCRIPCION: _____ OPERADOR: _____
 MEDIDAS DE LA MUESTRA: _____ CALCULISTA: _____

$D_c = 3.67$ cm $A_t = 10.689$ cm² $W_i =$ _____ gr
 $D_c = 3.67$ cm $A_c = 10.323$ cm² $V_i =$ _____ cm³
 $D_i =$ _____ cm $A_i =$ _____ cm² $m =$ _____ Ton/m³
 $H_m = 5.68$ cm $A_m = A_c \cdot A_t \cdot A_i =$ _____ : 10.689 cm²
 6.40 cm

VELOCIDAD DE APLICACION DE LA CARGA: _____ $0, = 2.5$ kg/cm²

| TIEMPO TRANSCURRIDO | LECTURA CARGA | LECTURA anillo | DEFORMACION TOTAL | DEFORMACION UNITARIA | DEFORMACION UNIT. FALLA | AREA CORREGIDA | ESFUERZO DESVIADOR | CONTENIDO DE AGUA | |
|---------------------|---------------|----------------|-------------------|----------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|--|------------------|
| mm | kg | mm | mm | mm | mm | cm ² | kg. cm ⁻² | CAPSULA N° | |
| | 4.896 | 34 | 0.5 | .0077 | .9923 | 10.77 | .455 | | |
| | 9.648 | 67 | 1.0 | .0154 | .9845 | 10.85 | .889 | | PESO CAP. + S.H |
| | 11.520 | 80 | 1.5 | .0231 | .9769 | 10.94 | 1.051 | | PESO CAP. + S.S. |
| | 13.520 | 87 | 2.0 | .0310 | .9690 | 11.02 | 1.131 | | PESO AGUA |
| | 13.392 | 93 | 2.5 | .0336 | .9614 | 11.11 | 1.202 | | PESO CAPSULA |
| | 13.968 | 97 | 3.0 | .0463 | .9537 | 11.20 | 1.242 | | PESO SUELO SECO |
| | 14.544 | 101 | 3.5 | .0540 | .9460 | 11.29 | 1.284 | | W% |
| | 14.976 | 104 | 4.0 | .0618 | .9382 | 11.39 | 1.315 | OBSERVACIONES: Prueba II | |
| | 15.408 | 107 | 4.5 | .0685 | .9305 | 11.48 | 1.342 | | |
| | 15.840 | 110 | 5.0 | .0772 | .9228 | 11.58 | 1.371 | | CAPSULA N° |
| | 16.272 | 113 | 5.5 | .0850 | .9150 | 11.68 | 1.391 | | PESO CAP. + S.H |
| | 16.56 | 115 | 6.0 | .0927 | .9073 | 11.77 | 1.407 | | PESO CAP. + S.S. |
| | 16.848 | 117 | 6.5 | .1004 | .8996 | 11.88 | 1.42 | | PESO AGUA |
| | 17.280 | 120 | 7.0 | .1081 | .8919 | 11.98 | 1.448 | | PESO CAPSULA |
| | 17.712 | 123 | 7.5 | .1159 | .8841 | 12.08 | 1.465 | | PESO SUELO SECO |
| 4'44.8 | 18.000 | 125 | 8.0 | .1236 | .8764 | 12.19 | 1.478 | | W% |
| | 22.176 | 154 | 8.5 | .1314 | .8686 | 12.30 | 1.801 | OBSERVACIONES: continúa siguiente forma | |
| | 22.32 | 155 | 9.0 | .1391 | .8609 | 12.41 | 1.792 | | |
| | 22.464 | 156 | 9.5 | .1468 | .8532 | 12.52 | 1.790 | | |



NOTA: AREA CORREGIDA = $\frac{A_m}{1 - DEF. UNIT.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

OBSERVACIONES: _____

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

82°

E. N. E. P.
ARAGON



U. N. A. M.

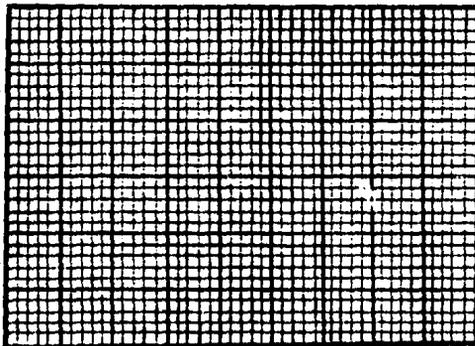
CBRA: _____ COMPRESION
 LOCALIZACION: _____ TRIAXIAL RAPIDA
 SONDEO N°: _____ ENSAYE N°: _____
 MUESTRA N°: _____ PROF: _____ FECHA: _____
 DESCRIPCION: _____ OPERADOR: _____
 MEDIDAS DE LA MUESTRA: _____ CALCULISTA: _____

$D_1 =$ _____ cm $A_1 =$ _____ cm² $W_1 =$ _____ gr
 $D_2 =$ _____ cm $A_2 =$ _____ cm² $V_1 =$ _____ cm³
 $D_3 =$ _____ cm $A_3 =$ _____ cm² $m =$ _____ Ton/m³
 $H_m =$ _____ cm $A_m = \frac{A_1 + 4A_2 + A_3}{6} =$ _____ = 10.689 cm²

VELOCIDAD DE APLICACION DE LA CARGA: _____ $\dot{\sigma}_1 =$ 2.5 kg/cm²

| TIEMPO TRANSCURRIDO | LECTURA CARGA | LECTURA PRESION | DEFORMACION TOTAL | DEFORMACION UNITARIA | DEFORMACION UNITARIA CORREGIDA | AREA CORREGIDA | ESFUERZO DESVIADO | CONTENIDO DE AGUA | |
|---------------------|---------------|-----------------|-------------------|----------------------|--------------------------------|----------------|-------------------|-------------------|--|
| | | | | | | | | CAPSULA N° | |
| | 18.720 | 130 | 10.0 | .1545 | .8455 | 12.64 | 1.475 | PESO CAP. + S. H. | |
| | 19.296 | 134 | 10.5 | .1621 | .8379 | 12.75 | 1.501 | PESO CAP. + S. S. | |
| | 19.728 | 137 | 11.0 | .1700 | .8300 | 12.87 | 1.53 | PESO AGUA | |
| | 20.016 | 139 | 11.5 | .1777 | .8223 | 12.99 | 1.542 | PESO CAPSULA | |
| | 20.592 | 143 | 12.0 | .1854 | .8146 | 13.12 | 1.58 | PESO SUELO SECO | |
| | 20.592 | 143 | 12.5 | .1931 | .8069 | 13.24 | 1.515 | W % | |
| 13'5.9" | 21.024 | 146 | 13.0 | .2009 | .7991 | 13.37 | 1.572 | OBSERVACIONES: | |
| | | | | | | | | Prueba II | |
| | | | | | | | | CAPSULA N° | |
| | | | | | | | | PESO CAP + S. H. | |
| | | | | | | | | PESO CAP + S. S. | |
| | | | | | | | | PESO AGUA | |
| | | | | | | | | PESO CAPSULA | |
| | | | | | | | | PESO SUELO SECO | |
| | | | | | | | | W % | |
| | | | | | | | | OBSERVACIONES: | |

ESFUERZO kg/cm²



DEFORMACION UNITARIA %

NOTA: AREA CORREGIDA = $\frac{A_m}{1 - \text{DEF. UNIT.}}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

OBSERVACIONES: _____

I)

$$T_1 - T_3 = 1.392$$

$$T_1 = 1.392 + T_3$$

$$T_3 = 1.5$$

$$T_1 = 1.392 + 1.5$$

$$T_1 = 2.892$$

II)

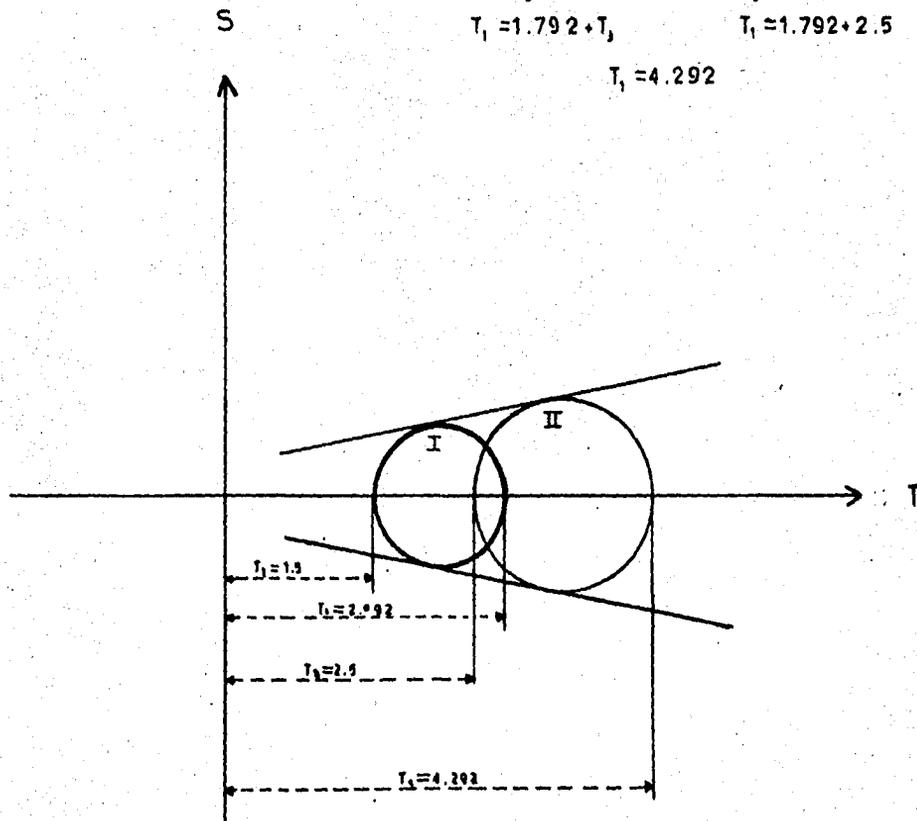
$$T_1 - T_3 = 1.792$$

$$T_1 = 1.792 + T_3$$

$$T_3 = 2.5$$

$$T_1 = 1.792 + 2.5$$

$$T_1 = 4.292$$



CONCLUSIONES

Este trabajo se hizo con el propósito de que los estudiantes del curso COMPORTAMIENTO DE SUELOS, tuvieran un medio de información para la elaboración de algunas pruebas que son necesarias para el control de calidad de las obras por lo cual es necesario tomar muestras de los materiales que se están utilizando en el área de suelos.

Es indispensable que el ingeniero a cuyo cargo se encuentre la construcción de cualquier tipo de obra no solamente este informado en cuanto a la cantidad de material por utilizar sino que también conozca algo de su naturaleza y de su influencia potencial sobre las propiedades relacionadas con la ingeniería.

La frecuencia de las muestras obtenidas para el control de calidad queda sujeta al programa de trabajo previamente elaborado.

Hay que subrayar el hecho de que estas pruebas son puntuales y por tanto al ser empleadas en distintas técnicas de aplicación han de ser tomadas con índice de confiabilidad (factores de seguridad) adecuados.

En el curso de Comportamiento de Suelos en esta escuela es importante, que el alumno conozca de alguna manera el procedimiento a realizar para la obtención de parámetros, que se utilizan a lo largo de todo el curso.

Es por eso que el presente Manual, sigue una secuencia igual al avance teórico que se sigue en el aula de clases. Desde el muestreo primera etapa que se debe realizar en todo tipo de ensaye de suelos, prosiguiendo con pruebas índice, para clasificación, y finalmente con la obtención de los parámetros más importantes en el estudio del comportamiento de un suelo.

Además en el laboratorio el estudiante estará en capacidad de entrar en contacto físico con la materia que está estudiando.

BIBLIOGRAFIA

1. S.A.R.H.
Instructivo Para Ensayos de Mecánica de Suelos
México D.F. 1974
2. Taylor, Donald W.
Fundamentos de Mecánica de Suelos
3. Treviño, Rodolfo
Control de Calidad en la Construcción de una Carretera
San Luis Potosi 1966
4. Lambe, T. W. y R.V. Whitman
Mecánica de Suelos
Instituto Tecnológico de Massachusetts, 1974
5. S.A.R.H.
Apuntes de Mecánica de Suelos-Oficina de Normas y Control de Calidad
México D.F. 1981
6. Juárez Badillo y Rico Rodríguez
Mecánica de Suelos, Tomo I
México 1974
7. Bowles, Joseph E.
Prácticas de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil
México 1980