

ÍNDICE

PRÁCTICA # 1	Muestreo de un suelo	1
PRÁCTICA # 2	Contenido de agua en suelo	3
PRÁCTICA # 3	Preparación de las muestras	4
PRÁCTICA # 4	Peso específico relativo de los sólidos	6
PRÁCTICA # 5	Relaciones gravimétricas y volumétricas	8
PRÁCTICA # 6	Peso volumétrico seco suelto	10
PRÁCTICA # 7	Análisis granulométrico	11
PRÁCTICA # 8	Limites de consistencia	13
PRÁCTICA # 9	Clasificación de suelos	16
PRÁCTICA # 10	Permeabilidad de un suelo	17
PRÁCTICA # 11	Consolidación	19
BIBLIOGRAFÍA	22

PRÁCTICA # 1.

MUESTREO DE UN SUELO

Muestreo: Consiste en la obtención de una porción del material con el que se pretende construir una estructura o bien del material que ya forma parte de la misma, de tal manera que las características de la porción obtenida sean representativas del conjunto. El muestreo, además, incluye las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras.

El muestreo comprende dos tipos de muestras:

1.1 Muestras alteradas, son aquellas que están constituidas por el material disgregado o fragmentado, en las que no se toman precauciones especiales para conservar las características de estructura y humedad; no obstante, en algunas ocasiones conviene conocer el contenido de agua original del suelo, para lo cual las muestra se envasan y transportan en forma adecuada.

Las muestras alteradas, de suelos podrán obtenerse de una excavación, de un frente, ya sea de corte o de banco o bien, de perforaciones llevadas a profundidad con herramientas especiales. Las muestras deberán ser representativas de cada capa que se atravesase, hasta llegar a una profundidad que puede corresponder al nivel mas bajo de explotación, al nivel de aguas freáticas o aquél al cual sea necesario extender el estudio.

El peso mínimo de la muestra será de 40 Kg. Que es la cantidad de suelo que comúnmente se requiere para realizar las pruebas en materiales de terracerías; esta cantidad deberá obtenerse de una muestra representativa mediante el procedimiento de cuarteo.

El espaciamiento de los sondeos y el número de muestras que se tomen deberán estar de acuerdo con la homogeneidad del suelo y el tipo de estudio de suelo de que se trate. En suelos que se presenten pocas variaciones en sus características, el espaciamiento de los sondeos será mayor que en los suelos heterogéneos. Igualmente, en los estudios preliminares el espaciamiento será mayor que en los estudios definitivos.

Equipos y materiales que se emplean en la obtención de muestras alteradas:

- Picos
- Palas
- Barretas
- Pulsetas
- Posteadoras
- Barrenas helicoidales
- Tubos galvanizados para extensiones
- Llaves Stillson
- Sacos o costales

El peso mínimo de la muestra será de 40 Kg.. Que es la cantidad de suelo que comúnmente se requiere para realizar las pruebas en materiales de terracerías; esta cantidad deberá obtenerse de una muestra representativa mediante el procedimiento de cuarteo.

El espaciamiento de los sondeos y el número de muestras que se tomen deberán estar de acuerdo con la homogeneidad del suelo y el tipo de estudio de suelo de que se trate. En

suelos que se presenten pocas variaciones en sus características, el espaciamiento de los sondeos será mayor que en los suelos heterogéneos. Igualmente, en los estudios preliminares el espaciamiento será mayor que en los estudios definitivos.

1.2 Muestras inalteradas, que son aquellas en las que se conserva la estructura y la humedad que tiene el suelo en el lugar donde se obtenga la muestra.

Las muestras inalteradas se obtendrán de suelos finos que puedan labrarse sin que se disgreguen. La obtención puede efectuarse en el piso o en las paredes de una excavación, en la superficie del terreno natural o en la de una terracería. La extracción para obtener la muestra deberá de ser de dimensiones tales que permitan las operaciones de labrado y extracción de la misma.

Los equipos y materiales que se utilizan para la obtención de las muestras inalteradas:

- Picos
- Palas
- Barretas
- Cuchillos
- Espátulas
- Cucharas de albañil
- Machetes
- Arcos con alambre acerado
- Estufa
- Brochas
- Cinta métrica de 20 mts de longitud
- Flexómetro
- Recipiente metálico
- Manta de cielo
- Brea
- Parafina
- Cajón de madera

Procedimiento para la extracción de las muestras inalteradas:

Si la muestra va ser obtenida en el piso de una excavación o de una superficie prácticamente horizontal, se marca un cuadro de 40 cms. por lado aproximadamente, con el objeto de labrar un cubo de suelo de las dimensiones mencionadas, se excava alrededor de las marcas con la herramienta apropiada, sin dañar la estructura de la muestra ya sea por presión o por impacto; se profundizará lo necesario para poder efectuar un corte horizontal en la parte inferior de la muestra. Inmediatamente después de haber realizado dicho corte y sin levantar la muestra, se cubre ésta con una manta de cielo recién embebida en una mezcla previamente preparada, de 4 partes de parafina, por una parte de brea, licuadas por medio de calor; la manta así preparada deberá quedar bien adherida a la muestra.

Una vez protegidas las 5 caras descubiertas, se procede a separar la muestra cuidadosamente para no dañarla e inmediatamente después, se procede a cubrirla igual que las otras caras. A continuación se aplica con una brocha, otra capa de parafina y brea fundidas y aprovechando la temperatura de la mezcla, se fija la tarjeta de identificación en la cara que originalmente estaba en la parte superior.

PRÁCTICA # 2.**CONTENIDO DE AGUA EN SUELO****Objetivo:**

- a) Determinar la cantidad de agua que posee una muestra de suelo, con respecto al peso seco de la muestra.
- b) Determinar este contenido de agua con los 2 métodos: Rápido y Estándar.

Definición:

Contenido de humedad, es la relación del peso del agua entre el peso de los sólidos de un suelo.

Fórmula:

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Equipo y material que se utiliza:

- o Horno eléctrico, que mantenga la temp. constante a 105 grados Centígrados.
- o Balanza con aproximación al 0.1 gr.
- o Charola y cápsula de aluminio
- o Espátula
- o Cristal de reloj

Procedimiento:**a) Método rápido:**

1. Se anota el número de la charola y se pesa, anotándola como tara (T).
2. Se vacía suelo húmedo a la charola y se pesa, anotándola como tara + suelo húmedo (T + Sh).
3. Se pone a secar el suelo en la estufa, moviéndolo algunas veces para que sea más rápido el secado, se coloca encima el cristal de reloj para comprobar que el suelo ya no tenga humedad; esto ocurrirá cuando ya no empañe el cristal.
4. Posteriormente, se deja enfriar (charola y suelo)
5. Se procede a pesar, lo que sería charola + suelo seco (T + S's)
6. Y se realizan los cálculos para determinar el contenido de agua por el método rápido.

$$w = \frac{(T + Sh) - (T + S's)}{(T + S's) - T} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

b) Para el método estándar:

1. Se hace lo mismo que en el método anterior, con la diferencia que en este método se utiliza una cápsula, el suelo húmedo es secado al horno a una temperatura de 100-110°C, durante 24 hrs.
2. Cuando se cumple con todo lo anterior, el suelo es sacado del horno, se deja enfriar y se pesa, aplicándose la fórmula anterior para determinar el contenido de agua.

PRÁCTICA # 3.

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

La preparación de **las muestras alteradas** comprende las operaciones de secado, disgregado y cuarteo, que son necesarias para obtener las porciones representativas en condiciones adecuadas para efectuar los ensayos correspondientes. **Las muestras inalteradas** requieren la operación de labrado, la cual se llevará a cabo de acuerdo con las pruebas a que vaya a someterse el material, debiendo extremarse las precauciones con objeto de no cambiar su estructura y contenido de agua.

Objetivo:

Conocer las actividades que se realizan a las muestras de suelo, cuando estas son llevadas al laboratorio.

Equipo que se utiliza:

- Charolas de lámina
- Cucharón de lámina
- Pala rectangular
- Mazo de madera
- Regla de dimensiones adecuadas al volumen a cuartear
- Hule o lona ahulada de 150 cms. como mínimo por lado

Procedimiento:

1. El secado tiene por objeto facilitar la disgregación y manejo de las muestras.

El secado de las muestras podrá ser al sol o al horno. En el primer caso, se extiende la muestra en las charolas o sobre una superficie sensiblemente horizontal, lisa y limpia, para que sea fácil recogerla y evitar la pérdida de finos, así como la contaminación con materiales extraños. Cuando se use el horno, deberá controlarse la temperatura de tal modo que esta sea del orden de 60 grados centígrados.

2. La disgregación tiene por objeto separar las diferentes partículas que constituyen la muestra cuando esta contiene grumos. Esta operación es relativamente fácil cuando se refiere a materiales granulares poco cementados, aumentando su dificultad a medida que va siendo mayor la cementación o cuando se trata de rocas alteradas; en estos casos, las partículas del material se separan por el proceso de disgregación, hasta quedar parcial o totalmente reducidas a material fino.

La disgregación de la muestra deberá efectuarse sin tratar de romper las partículas duras, para lo cual se deberá emplear un mazo de madera, con el que se golpeará el suelo en forma vertical, desde una altura de 20 cm. hasta obtener partículas que ya no sean disgregables.

3. El cuarteo tiene por objeto obtener de una muestra porciones representativas de tamaño adecuado para efectuar las pruebas de laboratorio que se requieran. Para esto se procede de la siguiente manera:

1. Formando un cono con la muestra para seccionarlo por cuadrantes; para esto se revuelve primero todo el material hasta que presente un aspecto homogéneo, traspaleando de un lugar a otro, recomendándose que al tomar suelo con la pala sea trasladado a otro lugar, girando y vaciando el material sobre un punto, con la

finalidad de que las partículas queden bien distribuidos en todo el volumen del material; se recomienda sea trasladado de un lugar a otro unas 4 veces sobre una superficie horizontal, lisa y limpia.

2. Se formará nuevamente un cono con el material, el cual se transformará en un cono trucado, encajando la pala en el vértice hacia abajo y haciéndola girar alrededor del eje del cono, con el fin de ir desalojando el material hacia la periferia hasta dejarlo con una altura de 15 a 20 cms. , en seguida dicho cono trucado se dividirá y separará en cuadrantes por medio de una regla de dimensiones adecuadas. Se mezclará el material de dos cuadrantes opuestos y con este, en caso de ser necesario, se repite el procedimiento anterior sucesivamente, hasta obtener la muestra del tamaño requerido. Se deberá tener cuidado de no perder el material fino en cada operación de cuarteo.
3. Otra forma de realizar un cuarteo es por medio del partidor de muestras; en este procedimiento se mezcla la muestra cuidadosamente y se extiende uniformemente sobre la charola de igual longitud que la tolva del partidor y a continuación se vierte sobre este, procurando que pasen cantidades similares a través de cada uno de los ductos, quedando en esta forma la muestra dividida en dos porciones que se depositan a la salida de los dos grupos de ductos en los recipientes laterales del partidor, lo cual constituye la primera separación.
Si la cantidad de muestra así obtenida es mayor que la requerida, se repite este procedimiento con una de las porciones separadas hasta obtener una muestra del tamaño necesario.

PRÁCTICA # 4.

PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS (DENSIDAD DE SÓLIDOS)

Objetivo:

- a. Determinar la densidad de una arena y/o un suelo fino (dado que es el mismo procedimiento para ambos suelos), empleando para ello un matraz de fondo plano, con su correspondiente curva de calibración.
- b. Determinar la densidad y la absorción en una grava de río y en una caliza triturada.

Definición:

La densidad de sólidos se define como la relación que existe entre el peso de los sólidos y el peso del volumen del agua desalojado por los mismos.

Generalmente la variación de la densidad de sólidos es de 2.60 a 2.80, aunque existen excepciones como en el caso de la turba en la que se han registrado valores de 1.5 y aún menores, debido a la presencia de materia orgánica. En cambio en suelos con cierta cantidad de minerales de hierro la densidad de sólidos ha llegado a 3.

Aplicación :

El Peso específico relativo de los sólidos es una propiedad índice que debe determinarse a todos los suelos, debido a que este valor interviene en la mayor parte de los cálculos relacionados con la Mecánica de suelos, en forma relativa, con los diversos valores determinados en el laboratorio pueden clasificarse algunos materiales.

Una de las aplicaciones mas comunes de la densidad (S_s), es en la obtención del volumen de sólidos, cuando se calculan las relaciones gravimétricas y volumétricas de un suelo.

Equipo y material que se utiliza:

- o Matraz aforado a 500 ml.
- o Balanza con aproximación al 0.1 gr.
- o Termómetro
- o Embudo
- o Probeta de 500 ml. de capacidad
- o Pizeta o gotero
- o Pipeta
- o Bomba de vacíos
- o Horno o estufa
- o Franela o papel absorbente
- o Curva de calibración del matraz
- o Canastilla
- o Charola de aluminio
- o Espátula
- o Cristal de reloj

Procedimiento:

4.1 Para la determinación de la densidad de arena y finos;

1. Se seca el suelo en estudio al horno, se deja enfriar y se pesa una cantidad de material entre 50 y 100 grs. (W_s).
2. Se vierte agua al matraz hasta la mitad de la parte curva, se vacían los sólidos empleando para esto un embudo y en la parte inferior del matraz se coloca un

fólder, por si se cae algo de material pueda ser recogido posteriormente y vaciado al matraz.

3. Se extrae el aire atrapado en el suelo, empleado la bomba de vacíos; el material con el agua se agita sobre su eje longitudinal, se conecta a la bomba de vacíos por 30 seg.
4. Se repite el paso anterior unas 5 veces.
5. Se completa la capacidad del matraz con agua hasta la marca de aforo, de tal manera que la parte inferior del menisco coincida con la marca (500 ml).
6. Se pesa el matraz + agua + sólidos (W_{mws}).
7. Se toma la temperatura de la suspensión, con esta, se entra a la curva de calibración del matraz y se obtiene el peso del matraz + agua hasta la marca de aforo (W_{mw}).
8. Se sustituyen los valores obtenidos en la fórmula siguiente y se obtiene la densidad:

$$S_s = \frac{W_s}{W_s + W_{mw} + W_{mws}}; \text{ donde: } S_s = \text{Peso específico de los sólidos.}$$

4.2 Para la densidad en gravas:

1. Se dejan las gravas en saturación por 24 hrs.
2. Se les retira el agua y se secan superficialmente con una franela ligeramente húmeda, se pesa una cantidad de material cercana a los 500 grs., obteniéndose de esta forma el peso saturado y superficialmente seco de gravas (W_{sss}).
3. Se procede a determinar el volumen desalojado de gravas ($V_{des.}$), para esto se emplea el Principio de Arquímedes, pesando las gravas en una canastilla, sumergidas en agua, obteniéndose el peso de gravas sumergidas ($W_{sum.}$).

$$V_{des.} = \frac{W_{sss} - W_{sum.}}{\gamma_w}; \text{ donde: } \gamma_w = \text{Peso específico del agua} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

4. Sin que haya pérdida de material, se vacían las gravas a una charola para secarlas totalmente ya sea en la estufa o en el horno, obteniéndose el peso de gravas secas (W_s).
5. Con los datos anteriores se obtiene la absorción de las gravas, de la siguiente manera:

$$\text{Absorción} = \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \times 100$$

6. Se determina la densidad o peso específico relativo de los sólidos (S_s) de la siguiente manera:

$$S_s = \frac{W_s}{(V_{real})\gamma_w} = \frac{W_s}{(V_{des.} - V_{abs.})\gamma_w}; \text{ donde: } V_{real} = \text{Volumen real, en cm}^3$$

$$V_{abs.} = \text{Volumen absorbido, en cm}^3$$

$$V_{abs.} = \frac{W_{sss} - W_s}{\gamma_w}$$

PRÁCTICA # 5.

RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS

Objetivo:

Determinar 5 relaciones mas importantes en un suelo parcialmente saturado, empleando el principio de Arquímedes para determinar el volumen de la muestra (V_m).

- a) Peso volumétrico del suelo húmedo (γ_m).
- b) Peso volumétrico del suelo seco (γ_d).
- c) Relación de vacíos (e)
- d) Porosidad (n)
- e) Grado de saturación de agua (G_w)

Equipo y material que se utiliza:

- o Balanza con aproximación de 0.1 gr.
- o Horno o estufa
- o Hilo
- o Cuchillo
- o Muestra inalterada o muestra compactada
- o Charola de aluminio
- o Cubeta con agua
- o Parafina

Procedimiento:

1. Se corta una muestra en forma de prisma rectangular, la cual se pesa y se obtiene el peso de la muestra (W_m).
2. Se cubre totalmente con parafina de tal forma que no le queden poros, por los cuales podría entrar el agua.
3. Se pesa la muestra + parafina $W(m + p)$.
4. Se cuelga la muestra al centro de la balanza, utilizando un hilo, se pesa la muestra + parafina sumergida en agua $W(m + p)_s$.
5. Se obtiene el volumen de muestra + parafina ($V_{m + p}$) de la siguiente forma:

$$V_{m + p} = \frac{W(m + p) - W(m + p)_s}{\gamma_w}; \quad \text{donde: } \gamma_w = \text{Peso específico del agua} = 1 \text{ gr/cm}^3$$

6. Se obtiene el volumen de la parafina (V_p):

$$V_p = \frac{W(m + p) - W_m}{\gamma_p}; \quad \text{donde: } \gamma_p = \text{Peso específico de la parafina} = 0.87 \text{ gr/cm}^3$$

7. Se obtiene el volumen de la muestra (V_m):

$$V_m = V_{m + p} - V_p$$

8. Se obtiene el contenido de humedad (w) que tiene el suelo, para esto se deberá retirar totalmente la parafina con un cuchillo; del material limpio de parafina se

tomará una muestra, se pesará y se someterá al secado con el fin de obtener el contenido de agua.

$$W = \frac{\text{Peso.del.agua}}{\text{Peso.del.suelo.seco}} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

9. Se obtiene el peso volumétrico del suelo húmedo (γ_m)

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

10. Se obtiene el peso volumétrico del suelo seco (γ_d)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + \frac{w}{100}}$$

11. Se obtiene la relación de vacíos (e)

$$e = \frac{V_v}{V_s}; \quad \text{donde: } V_v = \text{Volumen de vacíos (cm}^3\text{)}$$

$$V_s = \text{Volumen de sólidos (cm}^3\text{)}$$

$$W_s = \frac{W_m}{1 + \frac{w}{100}}$$

$$W_s = \text{Peso de sólidos (grs.)}$$

$$S_s = \text{Peso específico relativo de los sólidos}$$

$$V_s = \frac{W_s}{S_s * \gamma_w} \quad (\text{adimensional})$$

$$V_v = V_m - V_s$$

12. Se obtiene la porosidad (n)

$$n = \frac{V_v}{V_m} \times 100$$

13. Se obtiene el grado de saturación de agua (Gw)

$$G_w = \frac{V_w}{V_v} \times 100; \quad \text{donde: } V_w = \text{Volumen de agua (cm}^3\text{)}$$

$$V_w = \frac{W_s * \frac{w}{100}}{\gamma_w}$$

PRÁCTICA # 6.**PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (P.V.S.S.)****Objetivo:**

Obtener la cantidad de suelo en kilogramos que se puede lograr por metro cúbico, al vaciar material a un recipiente de volumen conocido y sin darle acomodo a las partículas.

Equipo y material que se utiliza:

- Cucharón de lámina
- Recipiente de volumen conocido
- Escantillón de 20 cms. de longitud
- Regla o solera de 30 cms.
- Balanza de 20 Kg. de capacidad y 5 grs. de aproximación

Procedimiento:

1. El suelo se seca al sol y se cuartea, de la forma descrita en práctica anterior.
2. Se pesa el recipiente vacío.
3. Empleando el cucharón se toma material y se deja caer dentro del recipiente desde una altura de 20 cms, hasta que se llene, utilizando como referencia el escantillón y evitando que el material se reacomode por movimientos indebidos; después se procede a enrasar el material utilizando la regla de 30 cms.
4. Se pesa el recipiente conteniendo el material y se registra su peso con aproximación de 5 grs.
5. Se calcula el peso volumétrico o específico del material seco y suelto, con la siguiente fórmula:

$$P.V.S.S. = \frac{W_m}{V_r} ; \text{ donde: } W_m = \text{Peso del material} = \text{Kg.}$$
$$W_m = (\text{Peso del recip.} + \text{mat.}) - (\text{Peso del recip.})$$
$$V_r = \text{Volumen del recipiente} = \text{m}^3$$

PRÁCTICA # 7.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (GRANULOMETRÍA)

7.1. Método Mecánico:

Objetivo:

Separar por tamaños las partículas de suelos gruesos y finos que componen la muestra de suelo en estudio y en función de lo anterior clasificar el suelo de acuerdo a su graduación; ejemplo:

Grava bien graduada (GW)

Arena mal graduada (SP)

Etc.

Definición:

Se designa como ensaye granulométrico a la determinación de la distribución de las partículas de un suelo en cuanto a su tamaño.

Aplicación:

Al realizar un análisis granulométrico en suelos gruesos, tiene las siguientes aplicaciones:

- a) Poder clasificar los suelos de acuerdo a su graduación.
- b) Analizar el material más factible para la construcción de pavimentos.
- c) Calcular el coeficiente de permeabilidad en una forma aproximada.

Y en suelos finos (partículas que pasan la malla No. 200):

- a) Es conveniente obtener el porcentaje de partículas menores de 0.002 mm., para definir los porcentajes de limo y arcilla que contiene un suelo; en función de lo anterior podremos definir u obtener la actividad de ese suelo.

Equipo y material que se utiliza:

- o Juego de mallas (comúnmente se utilizan: 3", 2", 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", 3/8", No.4, No.10, No.20, No.40, No.60, No.100, No.200 y la Charola).
- o Cucharón
- o Balanza con aproximación a 0.1gr.
- o Charolas rectangulares de 40X60 cms.
- o Espátula y vidrio de reloj
- o Partidor de muestras o cuarteador
- o Malla No. 200, para el lavado del suelo que pasó la malla No. 4
- o Alambrón de 5 mm de diámetro, con punta redondeada.
- o Horno o estufa
- o Charolas de aluminio
- o Vaso de aluminio
- o Agua
- o Suelo en estudio

Procedimiento:

1. Del suelo secado al sol, disgregado y cuarteado, se obtiene una muestra representativa, la cual es pesada y se anota el peso en el registro correspondiente.
2. Se procede a pasar el material por las diferentes mallas, que van de mayor a menor abertura tal y como se presentan en el registro propio para este ensaye.

3. El material retenido en cada malla se va pesando y anotando en la columna de peso retenido.
4. Todo lo anterior se realiza hasta la malla No. 4 y con el material que pasa dicha malla se procede a obtener una porción de suelo que sea representativa, para ello habrá que pasar el material las veces necesarias por el partidador de muestras, hasta que se obtenga una muestra de entre 500 y 1000 grs.
5. La muestra anterior se pone a secar totalmente (hasta que no empañe el cristal de reloj), esta se enfría y se pesa una muestra de 200.0 grs., la cual se vacía a un vaso de aluminio y se vacía agua hasta llenarlo; con esto se procede a realizar el **Lavado del suelo**. Si el suelo en estudio, tiene una cantidad apreciable de grumos, este se deja en saturación por 24 hrs.
6. **El Lavado del suelo**, consiste en agitar el suelo utilizando el alambón con punta redondeada, haciendo figuras en forma de “ochos” durante 15 segundos.
7. Se vacía el líquido a la malla No. 200, con el fin de eliminar los finos (que es el material que pasa dicha malla), posteriormente se vierte más agua al vaso y se agita de la forma antes descrita.
8. Cuando en la malla se acumule mucho material (arena), se reintegra al vaso, vaciando agua sobre el reverso de la malla, siempre cuidando de no perder material; esto se hará cada 5 veces que se vacíe agua con finos a la malla No. 200. Esta operación se repite las veces necesarias para que el agua salga limpia o casi limpia.
9. El suelo es secado al horno o a la estufa, se deja enfriar y después se pasa por las siguientes mallas, que son la No. 10 a la No. 200.
10. Para que sea un vibrado más eficaz se recomienda, llevar todo el conjunto de mallas al vibrador de mallas.
11. Se procede a pesar el material retenido en cada malla.
12. Se realizan los cálculos de: % retenido parcial, % retenido acumulado, % que pasa; se dibuja la curva granulométrica.
13. Se calculan: los % de grava, de arena y de finos, así como los Coeficientes de uniformidad (Cu) y de Curvatura (Cc).

PRÁCTICA # 8.**LIMITES DE CONSISTENCIA****Objetivo:**

Determinar los Límites: Líquido, Plástico y de Contracción por el Método P.R.A. (Public Road Administration), también obtener la prueba de Contracción lineal; esta última tiene aplicación en los estudio de materiales que se utilizan en las capas del pavimento.

El Límite líquido y el Límite plástico se emplean para clasificar un suelo, de acuerdo a su plasticidad.

Definiciones:

Límite Líquido (LL).— Es la frontera comprendida entre los estados Semi-líquido y Plástico, definiéndose como el contenido de humedad que requiere un suelo previamente remoldeado, en el que al darle una forma trapezoidal sus taludes fallen simultáneamente, cerrándose la ranura longitudinalmente 13mm., sin resbalar sus apoyos, al sufrir el impacto de 25 golpes consecutivos, con una frecuencia de 2 golpes por segundo, en la Copa de Casagrande, teniendo una altura de caída de 1 cm.

El Límite Líquido, se define también como el contenido de humedad que requiere un suelo para presentar una resistencia al esfuerzo cortante de aproximadamente 25 gr/cm^2 , independientemente de su mineralogía.

Límite Plástico (LP).—Es la frontera comprendida entre el estado plástico y semi-sólido. Se define como el contenido de humedad que posee un cilindro de material en estudio de 11 cms. de longitud y 3.2 mm. de diámetro (formado al girarlo o rolarlo con la palma de la mano sobre una superficie lisa) al presentar agrietamientos en su estructura.

Límite de Contracción (LC).—Es la denominación que recibe arbitrariamente el material que se encuentra entre los estados semi-sólido y sólido, quedando definido su valor con el contenido de humedad que tiene el suelo, en el cual tras un secado posterior ya no provoca disminución de volumen.

Equipo y material que se utiliza:

- Copa de Casagrande
- Ranurador laminar o ranurador curvo
- Cápsula de porcelana
- Espátula
- Charolas de aluminio o vidrio de reloj
- Malla No. 40
- Horno con temperatura constante de 105°C
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Molde para Contracción lineal
- Calibrador con Vernier
- Placa de vidrio
- Alambre con un diámetro de 3.2 mm.
- Pizeta
- Franela
- Agua

- o Papel absorbente

Procedimiento:

1. El suelo debe ser cribado por la malla No. 40, el cual se vacía en una cápsula de porcelana y debe humedecerse 24 hrs. antes de estas determinaciones.
2. Se pesan las charolas de aluminio (4 para el LL y 2 para el LP)
3. Para el **Límite Líquido**, el suelo es mezclado en la cápsula de porcelana, hasta que se vea una mezcla manejable, se coloca en la Copa de Casagrande, distribuyendo el material del centro hacia los extremos, de tal manera que en el centro quede una superficie a nivel.
4. Se hace una ranura en la parte media del suelo, utilizando el ranurador, de tal forma que este vaya perpendicular a la Copa de Casagrande.
5. Se procede a darle los golpes en la Copa, con una frecuencia de 2 golpes por segundo, hasta que los taludes del material se unan en una longitud de 13 mm., los golpes son contados y son registrados en la columna de Número de golpes.
Debe tratarse de que esta condición, antes descrita se cumpla entre 4 y 40 golpes, para que la prueba se tome como bien ejecutada; se recomienda que esta condición se logre una vez en cada uno de los siguientes intervalos de golpes:

Una vez entre 30 y 40 golpes,
 Otra entre 20 y 30 “
 Otra entre 10 y 20 “
 Otra entre 4 y 10 “

Lo anterior es recomendado con el fin de que los puntos obtenidos al graficar, el número de golpes contra contenido de agua, estos queden separados unos de otros y se pueda definir con mayor claridad la Curva de Fluidez.

En cada una de estos ensayos se toman muestra del centro de la Copa, las cuales son pesadas y se anotan en el registro como: tara + suelo húmedo.

6. Estas muestras son introducidas al horno para determinar el contenido de humedad en cada ensaye.
7. Cuando el suelo tenga la humedad correspondiente al LL (ensaye en el intervalo de 20 a 30 golpes), se llena el molde rectangular, en 3 capas, dándole los suficientes golpes a cada capa contra la mesa, con el fin de extraerle el aire atrapado, después el molde se enrasa, se limpia exteriormente con una franela húmeda y finalmente se pesa, anotándolo como: Peso del molde + suelo húmedo; con lo descrito en este paso se realiza la prueba de **Límite de contracción por el método P.R.A. y la prueba de Contracción lineal**.

Para la determinación del Límite Plástico (LP):

1. De la muestra menos húmeda, pero que sea moldeable, se hace primeramente una esfera de 1.5 cms. aproximadamente.
2. Se gira o se rola con la palma de la mano, sobre la placa de vidrio, tratando de hacer un cilindro alargado y con un diámetro de 3.2 mm. (se utilizará un alambre para comparar).
3. Si este cilindro presenta agrietamientos múltiples, se dice que el suelo presenta el Límite plástico, donde se obtendrán muestras de suelo, se someterán al secado para determinar el contenido de agua, el cual equivale al LP.

4. En caso de no cumplirse la anterior condición, el suelo se hará de nuevo una esfera y se repetirá el proceso hasta que se cumpla lo especificado.

Cálculos:

Para el Límite Líquido, las muestras son sacadas del horno, se dejan enfriar y se pesan, se registran en la columna de: tara + suelo seco.

Con estos datos se obtiene el contenido de agua en los 4 ensayos, se grafican:

Número de golpes contra contenido de agua, obteniéndose 4 puntos, por los cuales se traza una línea recta por los puntos o parte intermedia de ellos, a esta recta se le llama **Curva de Fluidez**; en 25 golpes, subimos e interceptamos la Curva de Fluidez y de ahí con la horizontal, leemos ese contenido de humedad, la que corresponderá al Límite Líquido.

Para el Límite Plástico, se procede a obtener el contenido de agua correspondiente, estos 2 contenidos de agua se promediarán siempre y cuando no haya una diferencia mayor a 2 puntos porcentuales, en caso contrario se tendrá que repetir esta prueba. El promedio antes descrito, se reportará como el resultado de Límite Plástico.

Para obtener el **Índice Plástico (Ip) = LL - LP**

Para el Límite de Contracción por el método P.R.A. - El suelo es sacado del horno, se pesa y se obtienen los volúmenes inicial y final, utilizando para ello un calibrador con Vernier y se llena el siguiente registro:

Peso del molde + suelo húmedo = grs.

Peso del molde + suelo seco = grs.

Peso del molde = grs.

Peso del suelo húmedo (W_1) = grs.

Peso del suelo seco (W_s) = grs.

Volumen del suelo húmedo (V_1) = cm^3

Volumen del suelo seco (V_2) = cm^3

Peso específico del agua (γ_w) = 1 gr/cm^3

Fórmula:

$$LC = \frac{W_1 - W_s - (V_1 - V_2)\gamma_w}{W_s} \times 100$$

Para la Contracción Lineal, en este caso, se determina el porcentaje que se contrajo el suelo al secarse, con respecto a su dimensión mas grande, involucrando los siguientes datos:

Longitud inicial (L_i) = cm

Longitud final (L_f) = cm

Contracción al secado ($L_i - L_f$) = cm

Fórmula:

$$CL = \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100$$

PRÁCTICA # 9.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Objetivo:

Trabajar una muestra de suelo por equipo y realizar las pruebas de Granulometría y Límites de consistencia, para poder clasificar un suelo de acuerdo al Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S).

PRÁCTICA # 10.

PERMEABILIDAD DE UN SUELO

Objetivo:

Determinar la velocidad del agua a través de un suelo, expresando esta, en cm/seg.

Definición:

Es la facilidad con que pasa el agua a través del suelo, lo cual dependerá de los huecos o vacíos que tenga un suelo y si estos están intercomunicados; un suelo grueso tendrá mas huecos que un suelo fino, por lo que tendrá mayor permeabilidad.

Aplicaciones:

Esta prueba tiene aplicaciones en las materiales que se van emplear en presas de tierra, en los suelos que se van emplear de fondo en Presas de Jal, en Lagunas de oxidación, en estanques para cría de peces, etc.

Equipo y materiales que se utilizan:

- Permeámetro de carga constante (de lucita)
- Termómetro
- Vasos de aluminio
- Cronómetro
- Permeámetro de carga variable (metálico)
- Bureta
- Flexómetro
- Agua

Procedimiento:

10.1 Permeabilidad de carga constante: Esta prueba es recomendada en suelos gruesos (Gravas y Arenas).

1. Se destapa el permeámetro, se coloca en el interior y en la parte de abajo una piedra filtro o piedra porosa.
2. Se va llenando el permeámetro con el suelo en estudio, para esto se van formando capas de material y se van compactando por medio de un pisón, de tal forma que al suelo se le da el acomodo que tenía este en el lugar o se puede reproducir el peso volumétrico que este tenía en el campo.
3. Se tapa el permeámetro, se le ponen los tornillos, se aplica agua al embudo del permeámetro y se deja que se sature el material, hasta que no se vean burbujas de aire.
4. Se instala el embudo a una altura aproximada de 2 veces la altura de la muestra y se sigue vaciando agua para que no le vaya a entrar aire al sistema.
5. Se procede a hacer las mediciones de volumen, al poner una probeta en la salida para un determinado tiempo, que puede ser 1 minuto ó 2 minutos.
6. Se anota el volumen de agua recogido, expresándolo en cm^3 , repitiendo esta acción tres veces, para obtener un promedio.

7. Se mide la carga hidráulica (h), la longitud de la muestra (L) y la temperatura del agua en Grados Centígrados, con el fin de obtener la relación de viscosidad del agua $\left(\frac{\mu\tau}{\mu_{20c}}\right)$, que lo da una tabulación.

Fórmula:

$$K_t = \frac{VL}{Aht} ; \quad \text{donde } K_t = \text{Coeficiente de permeabilidad} = \text{cm/seg.}$$

$$A = \text{Área de la muestra} = \text{cm}^2$$

$$t = \text{tiempo de prueba} = \text{seg.}$$

$$K_{20c} = K_t \left(\frac{\mu\tau}{\mu_{20c}}\right) ; \quad K_{20c} = \text{Coeficiente de permeabilidad corregido por Temp.}$$

en cm/seg.

10.2 Permeabilidad de carga variable: Esta prueba es recomendada en suelos finos (arcillas y limos).

1. Si se trata de muestra inalterada, el suelo se labra y se introduce en el permeámetro metálico, como también se puede compactar con el pisón de la prueba Proctor estándar, con lo que se pueden reproducir los pesos volumétricos obtenidos en el campo.
2. Se mide la longitud (L) y área de la muestra de suelo (A).
3. Se tapa el permeámetro, sellándose perfectamente para evitar fugas de agua.
4. Se vierte agua en la bureta hasta la marca de 0 ml, la que debe estar conectada al permeámetro por medio de una manguera de plástico.
5. Se inicia la medición de carga hidráulica inicial, desde el momento que se establezca el flujo de agua. La carga hidráulica inicial queda comprendida desde la superficie libre del agua contenida en la bureta hasta el orificio de salida del permeámetro.
6. Dependiendo de la permeabilidad del suelo en estudio, se fija el tiempo de prueba; en algunos casos, la carga hidráulica final se toma hasta las 24 hrs. de iniciada la prueba.
7. Teniendo los datos antes descritos se aplica la siguiente fórmula:

$$K_t = 2.3 \frac{La}{At} \log \frac{H_0}{H_1} ; \quad \text{donde: } a = \text{área de la columna de agua} = \text{cm}^2$$

$$H_0 = \text{carga hidráulica inicial} = \text{cm}$$

$$H_1 = \text{carga hidráulica final} = \text{cm}$$

$$t = \text{tiempo de prueba} = \text{seg.}$$

$$K_{20c} = K_t \left(\frac{\mu\tau}{\mu_{20c}}\right)$$

PRÁCTICA # 11.

CONSOLIDACIÓN

Objetivo:

Determinar el decremento de volumen que sufre un suelo al tener cargas encima o con el peso propio y la velocidad con el que este se produce.

Definición:

La Consolidación es un proceso de disminución de volumen que se produce en un lapso de tiempo y que es debido a un incremento de las cargas sobre el suelo.

Aplicación:

Esta prueba se realiza en arcillas principalmente y se obtienen algunos parámetros, con los que se calculan los asentamientos que puede tener un suelo y el tiempo en que estos se producirían.

Equipo y material que se utiliza:

- Consolidómetro
- Micrómetro con aproximación de 0.0001”
- Cronómetro
- Torno para el labrado de muestras
- Espátula
- Cuchillo
- Equipo para determinar densidad de suelos
- Equipo para determinar % de humedad
- Arco con alambre acerado
- Termómetro
- Balanza con aproximación de 0.1 gr.

Procedimiento:

1. De una muestra inalterada, córtese porciones de esta y determínese su densidad y el porcentaje de humedad.
2. Pesarse el anillo de consolidación y anotar dicho peso en el registro correspondiente.
3. Córtese un cubo de la muestra, de 10 cms. de lado y se va labrando para darle una forma cilíndrica, para poder introducirla en el anillo, teniendo cuidado de no rebajarla demasiado, sino de tal forma que una parte de ella entre en el anillo. Ya que se logró esto, se va introduciendo más quitándole material de los lados hasta que quedó el anillo totalmente lleno y saliendo por el lado opuesto a el que se va introduciendo, de 4 mm. a 10mm.; Consiguiendo esto, el anillo se enrasa por ambos lados y se pesa, anotando dicho peso, como: Tara + suelo húmedo.
4. Colóquese una piedra porosa en la cazuela que mantiene fijo el anillo y sobre esta el anillo, ajustándose perfectamente los tornillos de esta cazuela y póngase otra piedra porosa encima de la muestra, acomódese la cazuela en el consolidómetro.
Se aplica agua hasta llenar la cazuela y así se mantiene hasta terminar la prueba.
5. Checar el brazo de palanca que se encuentre nivelado.
6. Se ajusta el micrómetro a cero y enseguida se coloca el primer incremento de carga.

7. Se van tomando las deformaciones que va sufriendo en suelo en los tiempos recomendados, estos son: 5 seg. , 10 seg, 15 seg, 30 seg. 1 min. , 2 min., 4 min., 8 min., 15 min. , 30 min. , 60 min., 120 min., 240 min., 480 min., 900 min. y 1440 min. Estos tiempos son cronometrados al momento de hacer el incremento de carga y se toman lecturas de deformación hasta que la curva Tiempo-Deformación entre a su consolidación secundaria (tramo recto de la curva); entonces se podrá hacer el siguiente incremento de carga.
8. Para saber si la curva tiempo-deformación entró a su consolidación secundaria, se lleva una gráfica en papel semilogarítmico, en el cual el tiempo va en la escala logarítmica y la deformación en la escala aritmética. Cuando la curva empieza a tomar una forma recta, entonces está entrando a su consolidación secundaria.
9. Se hace el 2º. Incremento de carga y se toman las lecturas de las deformaciones en los intervalos de tiempo ya recomendados, para así poder llevar el control de la curva tiempo-deformación con el nuevo incremento de carga.
10. Cuando la curva vuelve a entrar en su consolidación secundaria con el nuevo incremento se vuelve a incrementar la carga hasta reproducir la presión que produce la estructura o construcción sobre el suelo.
11. Por cada incremento de carga debe de elaborarse una curva Tiempo-Deformación
12. Terminado el proceso de carga, sigue el de descarga. Este proceso consiste en retirarle la mitad de la carga que tiene el consolidómetro e ir tomando las lecturas de recuperación que tiene el suelo, lo cual en la mayoría de los casos, la recuperación máxima se da a las 12 hrs. de haberse retirado esa carga.
13. Se retira el siguiente incremento que será la mitad de la carga que quede en el consolidómetro, se toman lecturas de recuperación, en la forma recomendada. Cuando la carga que quede en el consolidómetro sea muy pequeña se retira totalmente.
14. Se retira el anillo del consolidómetro, se seca superficialmente y se pesa sin quitarle el suelo. Se coloca en un horno a una temperatura de 105 grados Centígrados, para obtener el contenido de agua al final de la prueba, ya que interviene este dato en los cálculos.
15. Los datos anteriores sirven para calcular los vacíos, con estos y los diferentes incrementos de carga se grafican en papel semilogarítmico de 4 ciclos; esta gráfica será de vacíos contra carga, en donde la carga va en escala logarítmica y los vacíos en la escala aritmética. De esta gráfica se obtiene la **carga de preconsolidación** y la gráfica es llamada **Curva de Compresibilidad**.
16. En la gráfica obtenida se localiza el punto de máxima curvatura, se traza una tangente a dicho punto. Se hace pasar por este una línea horizontal, el ángulo formado por las dos líneas se bisecta, enseguida se traza una línea tangente a la zona virgen hasta que cruce con la bisectriz y en el punto donde se crucen se baja una perpendicular a el eje de las abscisas y en donde corte dicho eje se tendrá la **carga de preconsolidación**.

En esta prueba se obtienen también otros parámetros como son:

Coefficiente de compresibilidad, que es igual a la pendiente de la curva de vacíos contra presión. Tómese el valor absoluto de ∂_v .

$$\partial_v = \frac{\Delta e}{\Delta p} = \frac{e_2 - e_1}{P_2 - P_1}; \text{ donde: } e_1 = \text{Relación de vacíos en la etapa 1}$$

P_1 = Presión en la etapa 1
 e_2 = Relación de vacíos en la etapa 2
 P_2 = Presión en la etapa 2

También se determina el **Coefficiente de Consolidación** con la fórmula siguiente:

$$C_v = \frac{0.197 H_m^2}{t_{50}}; \text{ donde: } H_m = \text{Altura de la muestra, en cms.}$$

t_{50} = Tiempo en segundos, correspondiente al 50% de consolidación primaria.

0.197 = Factor tiempo correspondiente al 50% de consolidación primaria.

Se determina el **Coefficiente de Permeabilidad** con la fórmula siguiente:

$$K_m = \frac{\partial_v C_v \gamma_w}{(1 + e_m) \times 1000}; \text{ donde: } e_m = \text{Relación media de vacíos}$$

∂_v = Coeficiente de Compresibilidad

C_v = Coeficiente de Consolidación

γ_w = Peso específico del agua.

Se determina el **Coefficiente de compresibilidad volumétrica** se obtiene con la fórmula siguiente:

$$M_v = \frac{\partial_v}{1 + e_0}; \text{ donde: } \partial_v = \text{Coeficiente de compresibilidad}$$

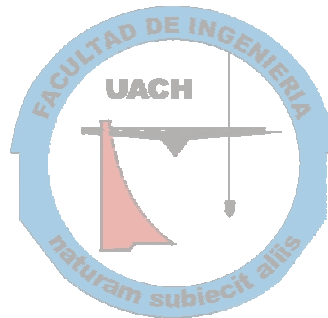
e_0 = Volumen de vacíos inicial

BIBLIOGRAFÍA:

1. “INSTRUCTIVO PARA EFECTUAR PRUEBAS EN SUELOS” DE: SAHOP O S.C.T.
2. TESIS:” APUNTES PARA LA CÁTEDRA DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS”, DE:
Ing. Roque Sánchez Ruelas
3. MANUAL DE LAB. DE SUELOS EN ING. CIVIL. DE: Joseph E. Bowles



**Universidad Autónoma de Chihuahua.
FACULTAD DE INGENIERÍA**



Manual de Prácticas de
Laboratorio de Mecánica de Suelos I.