

2020-I

LABORATORIOS DE GEOTECNIA



UNIVERSIDAD
DE SUCRE

FACULTAD DE
INGENIERIA

PROGRAMA DE
INGENIERIA
CIVIL

AUTOR COMPILADOR:
CARLOS MEDINA M.

ING. CIVIL

MAGISTER EN ING.
CIVIL CON ENFASIS EN
GEOTECNIA

TABLA DE CONTENIDO

1. Determinación del análisis granulométrico de los suelos (método mecánico)	3
2. Determinación del análisis granulométrico de los suelos (método del hidrómetro)	9
3. Determinación de los límites de consistencia o de Atterberg de los suelos	16
4. Determinación de las relaciones volumétricas de los suelos	23
5. Determinación del peso unitario de suelos cohesivos	28
6. Determinación de la gravedad específica de los sólidos	32
7. Ensayo de compactación de suelos: prueba Proctor modificado	36
8. Determinación de la densidad del suelo en el campo “método del cono de arena”	42
9. Ensayo de permeabilidad cabeza constante y variable	47
10. Ensayo de consolidación Unidimensional de los suelos	52
11. Ensayo de corte directo	56
12. Ensayo de compresión inconfinada de suelos cohesivos	62



**PRÁCTICA N° 1: DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS
GRANULOMÉTRICO DE LOS SUELOS (MÉTODO
MECÁNICO).**

FECHA DE REVISÓN:
11-04-2019
ELABORÓ:
ING. CARLOS MEDINA

NORMAS: ASTM D422-63; AASHTO T 88-70

I. GENERALIDADES:

Los suelos están compuestos por partículas de diferentes formas, tamaños y cantidades. La variedad en el tamaño de sus partículas, es casi ilimitada; observándose que los granos de mayor tamaño se pueden tomar con los dedos de la mano, mientras que los más finos son tan pequeños que no se pueden apreciar con un microscopio corriente.

A través del Análisis Granulométrico se puede determinar el tamaño de las partículas o granos que constituyen un suelo y fijar, en porcentaje de su masa total, la cantidad de granos de distinto tamaño que el mismo contiene.

El procedimiento consiste en tomar una muestra de suelo seco de peso conocido, colocarlo en una serie de tamices, de abertura cuadrada, ordenados de mayor a menor abertura, pesando los retenidos parciales de suelo en cada tamiz. Esta separación física de la muestra en dos o más fracciones que contiene cada una de las partículas de un solo tamaño, es lo que se conoce como "Fraccionamiento".

Tabla 1. Tamaño de las aberturas de los tamices normalizados.

TAMIZ	ABERTURA(mm)	TAMIZ	ABERTURA(mm)
3"	76.2	1/4"	6.35
2 1/2"	63.5	Nº 4	4.76
2"	50.8	Nº 10	2.00
1 1/2"	38.1	Nº 20	0.850
1"	25.4	Nº 40	0.420
3/4"	19.1	Nº 60	0.250
1/2"	12.7	Nº 100	0.150
3/8"	9.52	Nº 200	0.075

La determinación de la masa de cada fracción que contiene partículas de un solo tamaño es llamado "Análisis Mecánico". Este es uno de los análisis de suelo más antiguo y común, brindando la información básica por revelar la uniformidad o graduación de un material dentro de rangos establecidos, y para la clasificación por textura de un suelo.

Sin embargo, debido a que la menor abertura de tamiz que se utiliza corrientemente es la de 0.075 mm (Malla No. 200), el análisis mecánico está restringido a partículas mayores que ese tamaño, los cuales corresponden a arenas y gravas.

Por lo tanto si el suelo contiene partículas menores que ese tamaño, la muestra de suelo analizada deberá ser separada en dos partes. La primera para el análisis mecánico y la segunda, por medio de lavado por el tamiz Nº 200, para el ensayo de hidrometría.

El análisis granulométrico por vía húmeda (hidrometría), se basa en la sedimentación establecida en el principio de la ley de Stokes. En la cual se mide la densidad de una suspensión del suelo a través del hidrómetro.

El proceso de tamizado no proporciona información sobre la forma de los granos del suelo, por ejemplo, si ellos son angulares o redondeados. Solamente nos da información sobre los granos que puedan pasar, a través de una malla de abertura de cierto tamaño. Obviamente, en muestras de un cierto tamaño no siempre es posible que todas las partículas pasen a través del tamiz respectivo, ya que es posible que no se puedan orientar adecuadamente para pasar a través de su abertura correspondiente.

La información obtenida del análisis granulométrico se presenta en forma de curva, llamada "Curva de distribución granulométrica". Con el objeto de poder comparar los suelos y de visualizar más fácilmente la distribución de los tamaños de los granos presentes, y como el rango de los posibles tamaños de partículas en los suelos es muy grande, con partículas que varían desde los cantes rodados (de varios centímetros) hasta los materiales coloidales de granos ultrafinos, se realiza la gráfica de distribución de granos en escala semilogarítmica. Los procedimientos patrones utilizan el porcentaje que pasa (también llamado porcentaje más fino) como la ordenada en escala natural y los valores del diámetro de las partículas en las abscisas en escala logarítmica.

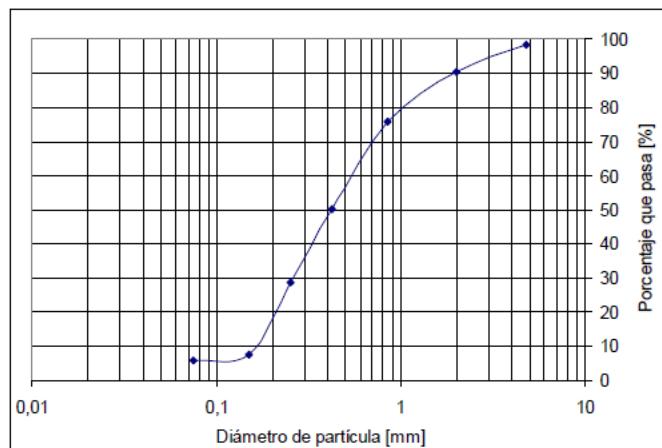


Figura 1. Curva de distribución granulométrica

II. OBJETIVOS

- Introducir al estudiante al método para realizar el análisis granulométrico mecánico de una muestra de suelo
- Comprender las diferencias entre los métodos de tamizado por la vía seca y la vía húmeda
- Definir la proporción en que se encuentran los tamaños de granos dentro una masa de suelo.
- Determinar experimentalmente la distribución cuantitativa del tamaño de las partículas de un suelo.
- Realizar la curva de distribución granulométrica del suelo estudiado
- Analizar su gradación con base en los coeficientes de uniformidad (Cu) y Curvatura (Cc).
- Realizar la clasificación del suelo estudiado

III. EQUIPOS Y MATERIALES



Figura 2. Equipo utilizado en el ensayo de tamizado mecánico

- Muestra de suelo representativa
- Juego de tamices (Deben ordenarse en orden decreciente), tapa y fondo.
- Tamizador mecánico (opcional)
- Balanza de 0.1gr. de sensibilidad
- Horno con temperatura constante de 100 – 110º C. (estufa eléctrica)
- Taras.

IV. PROCEDIMIENTO

Existen dos diferentes procedimientos para el tamizado seco y el húmedo.

- El tamizado seco se usa específicamente cuando los granos de suelo a analizar se encuentran libres de partículas finas y materia orgánica.
- El tamizado húmedo es usado cuando las partículas finas del suelo forman terrones duros, o cubren las partículas gruesas.

TAMIZADO SECO

1. Seque al horno la muestra representativa de suelo, deje que se enfrie, y determine su masa
2. Seleccione una apropiada serie de tamices para realizar el ensayo. La escogencia de los tamices generalmente depende de la experiencia del laboratorista y del propósito del análisis del tamaño de los granos. El tamiz superior debe tener un tamaño de abertura ligeramente mayor que las partículas más grandes. Coloque la serie de tamices de modo que la malla de mayor abertura quede en la parte superior y la de menor abertura este en el fondo.
3. Adjunte un fondo en la parte inferior de la serie de tamices. Vierta la muestra de suelo en el tamiz superior y cubra con una tapa para evitar salida de polvo y perdida de partículas durante la sacudida.
4. Somete la serie de tamices a agitaciones horizontales con movimientos de rotación y verticalmente con golpes secos de vez en cuando. De manera opcional puede colocar la serie de tamices en un agitador mecánico. El tiempo de agitación será por cerca de 10 minutos.
5. Comenzando por el tamiz superior, transfiera con mucho cuidado su contenido a una pieza de papel o un recipiente. Use una brocha para retirar los granos atascados en la abertura de la malla. Determine la masa de suelo retenido en cada tamiz.
6. Repita el paso 5 para cada tamiz. Como verificación preliminar, las masas retenidas en todos los tamices y el fondo se deben sumar, y su suma debe ser comparada con la masa inicial de la muestra. Si se tiene una diferencia mayor al 2% con respecto a la masa inicial se considera que el experimento no es satisfactorio y por consiguiente debe repetirse.

TAMIZADO HUMEDO

1. Determine la masa de la muestra seca, tal como en el tamizado seco
2. Si la muestra de suelos presenta una cantidad apreciable de partículas finas, las cuales tienden a formar terrones duros o cubrir las partículas gruesas, coloque la muestra de suelo en una bandeja y llénela con suficiente agua para cubrir todo el material humedeciendo todas las partículas y desintegrandola cualquier grumo.
3. Pase a través del tamiz N° 200 la cantidad de agua en exceso que contiene el material en suspensión. Tenga cuidado de no sobre cargar el tamiz N° 200 ya que este es bastante delicado. Las partículas de mayor tamaño pueden ser lavadas individualmente y retiradas de la bandeja de lavado.
4. Repita el paso 3 hasta que el material se encuentre lo mejor lavado posible. El agua no debe presentar muchas partículas en suspensión. El agua debe estar bastante transparente.
5. Seque al horno o en estufa eléctrica el material retenido. Deje enfriar y determine su masa. Registre la diferencia entre las masas secas antes y después del lavado.
6. Use la muestra seca para llevar a cabo el tamizado seco iniciando en el paso 2.

V. CÁLCULOS, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En el análisis por tamizado se obtienen los resultados de las masas parciales retenidas en cada uno de los tamices. Con base en la masa inicial, se calculan los porcentajes retenidos parciales, los porcentajes acumulativos y los porcentajes que pasan por cada tamiz.

Con base en los porcentajes del material que pasan cada tamiz y sus correspondientes aberturas, se puede elaborar la curva de distribución granulométrica del suelo analizado.

A partir de la curva de distribución granulométrica, se puede obtener diámetros característicos tales como el D_{10} , D_{30} y D_{60} . El D se refiere al tamaño del grano, o diámetro aparente, de la partícula de suelo y el subíndice (10, 30, 60) denota el porcentaje de material más fino. Por ejemplo, $D_{10} = 0.18\text{mm}$ para la curva de la figura 1. Esto significa que el 10% de los granos de la muestra son menores en diámetro que 0.18mm. El diámetro D_{10} es también llamado el diámetro efectivo de un suelo.

Una indicación de la variación (o rango) del tamaño de los granos presentes en la muestra se obtiene mediante el coeficiente de uniformidad, C_u , que se define como:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Otro parámetro importante para describir la distribución de las partículas en una masa de suelo, es el *coeficiente de curvatura*, C_c , el cual nos da una medida de la forma de la forma de la curva entre el D_{10} y el D_{60} , que se define como:

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

Con base en estos dos parámetros, se puede determinar analíticamente si los suelos gruesos se consideran como bien gradados o mal gradados, de la siguiente manera:

Las gravas se consideran bien gradadas cuando:

$$C_u \geq 4 \quad \text{y} \quad 1 < C_c < 3$$

Las arenas se consideran bien gradadas cuando:

$$Cu \geq 6 \quad \text{y} \quad 1 < Cc < 3$$

VI. GUIA SUGERIDA

1. ¿Es siempre posible determinar el Cu y Cc para todos los tipos de suelo? Explique
2. ¿En qué condiciones debe usar el tamizado húmedo en lugar del tamizado seco?
3. ¿Cuál es el propósito del análisis del tamaño de los granos?
4. ¿En qué se basa para seleccionar el número y la abertura de los tamices para un análisis por tamizado de un suelo?
5. ¿Es posible llevar a cabo un análisis por tamizado de una muestra de arcilla? Explique

VII. REFERENCIAS

- Joseph Bowles, Manual de laboratorio de
- Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería geotécnica,
- Jean Pierre Bardet, Experimental Soil Mechanics,
- Normas ASTM. (D 421-58 y D 422-63)
- Normas AASHTO (T 88-70 y T 87-70)



UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
GEOTECNIA I

**GRANULOMETRIA POR
TAMIZADO**

NORMAS

ASTM
D422-63

AASHTO
T 88-70

PROYECTO:

LOCALIZACIÓN:

DIRECCION:

FECHA:

APIQUE N°:

MUESTRA N°:

PROF.:

Masa seca Inicial (gr)

Masa seca lavada (gr)

Tamiz	Abertura (mm)	Masa Ret. (gr)	Retenido (%)	Ret. Acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.2				
2 1/2"	63.5				
2"	50.8				
1 1/2"	38.1				
1"	25.4				
3/4"	19.1				
1/2"	12.7				
3/8"	9.52				
1/4"	6.35				
Nº4	4,75				
Nº10	2,00				
Nº20	0,85				
Nº40	0,425				
Nº60	0,25				
N ° 100	0,150				
N ° 200	0,075				
Fondo					
Sumatorias					

DESCRIPCION SUELO

% GRAVA=

% ARENA=

% LIMO=

% ARCILLA =

D₁₀=

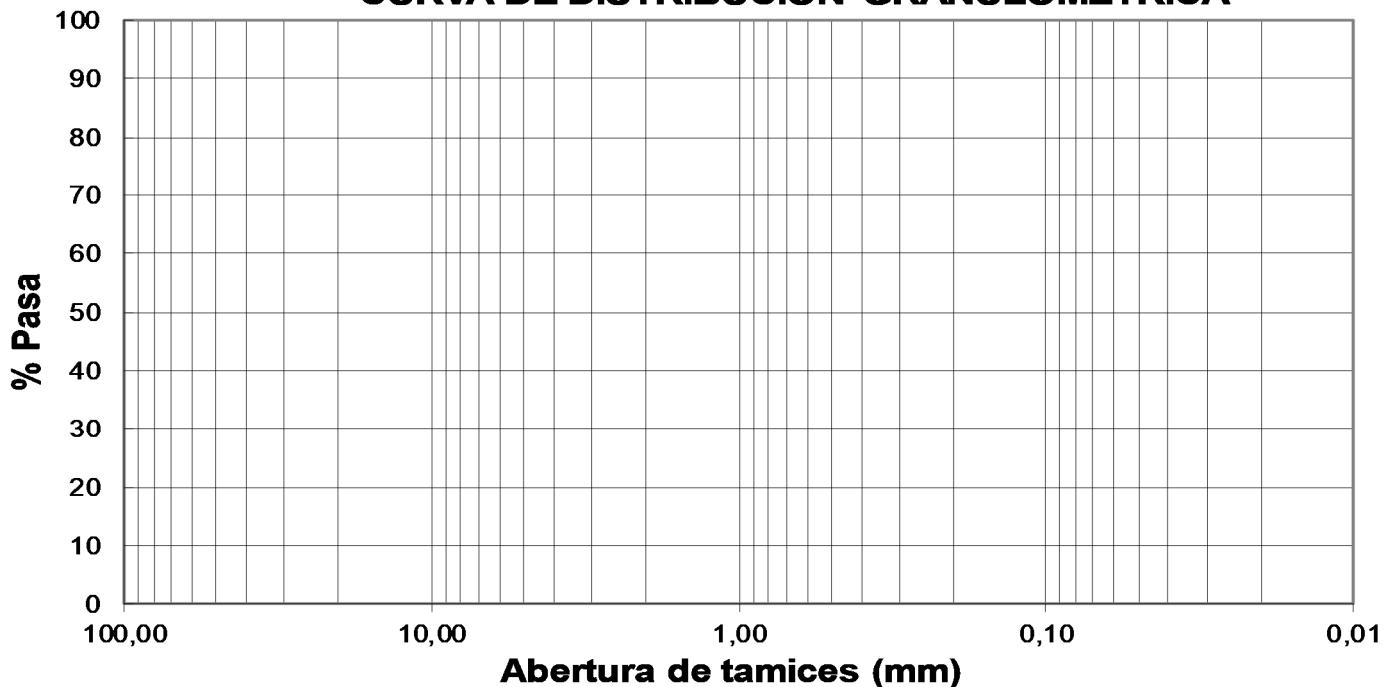
D₃₀=

D₆₀=

Cu=

Cc=

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



**PRÁCTICA N° 2: DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS
GRANULOMÉTRICO DE LOS SUELOS (MÉTODO DEL
HIDRÓMETRO).**

FECHA DE REVISIÓN:
11-04-2019
ELABORÓ:
ING. CARLOS MEDINA



NORMAS: ASTM D422-63; AASHTO T 88-70

I. GENERALIDADES

El método más usado para hacer la determinación indirecta de los porcentajes de las partículas de tamaño menor que el tamiz No. 200 (0.075 mm.), hasta 0.001 mm, es el HIDRÓMETRO. El cual se basa en la sedimentación de un material en suspensión en un líquido, el hidrómetro sirve para la determinación de la variación de la densidad de la suspensión con el transcurso del tiempo y medir la altura de caída del gramo de tamaño más grande correspondiente a la densidad media.

El análisis del hidrómetro utiliza la relación entre la velocidad de caída entre las esferas de un fluido, el diámetro de la esfera, la densidad tanto de las partículas como del fluido, y la viscosidad del fluido, en la fórmula expresada por la ley de Stokes. Esta asume que las partículas de suelo, de varias formas y tamaños, dispersas en el agua caen de acuerdo con su propio peso tal como esferas individuales.

$$v = \frac{2\rho_s - \rho_w}{18\eta} D^2$$

Donde:

v= velocidad

ρ_s =densidad de las partículas sólidas del suelo

ρ_w =densidad del agua

η =viscosidad del fluido

D= diámetro de las partículas de suelo

El “tamaño” obtenido en este ensayo, es el de la esfera equivalente, que decanta a la misma velocidad de las partículas de suelo fino.

Los datos se presentan en un gráfico semilogarítmico de porcentaje de material más fino contra diámetro de los granos y puede combinarse con los datos obtenidos en el análisis mecánico del material retenido en el tamiz N° 200.

Las lecturas tomadas en el hidrómetro sumergido en la mezcla de suelo y agua debería tomarse en el nivel del agua (nivel real del fluido), pero en una suspensión turbia como la presentada por el suelo y el agua, es necesario tomar las lecturas en el menisco superior del agua, por lo que se deberá tener en cuenta la *corrección por menisco*.

El efecto de las impurezas en el agua y del agente dispersante sobre las lecturas del hidrómetro se pueden obtener utilizando una probeta de sedimentación de agua de la misma fuente con la misma cantidad de agente dispersante que se utilizó al hacer la suspensión agua-suelo para obtener la *corrección por ceros*.

La viscosidad del agua cambia en función de su temperatura, a mayor temperatura la viscosidad del agua disminuirá y permitirá la caída más rápido de las partículas que se encuentren en la suspensión suelo-agua, en vista de lo cual se deberá hacer una *corrección por temperatura* (ver tabla 2.3)

II. OBJETIVOS

- Familiarizar al estudiante con un método para obtener aproximadamente la distribución granulométrica de los suelos finos.
- Representar gráficamente la distribución cuantitativa del tamaño de las partículas finas de un suelo.
- Definir la proporción de arcilla y limos presentes dentro una masa de suelo.
- Realizar el empalme de las curvas de distribución granulométrica de las partículas de suelo grueso y suelo fino usado en esta práctica y la anterior.
- Realizar la clasificación del suelo estudiado en esta práctica y la anterior.

III. EQUIPOS Y MATERIALES

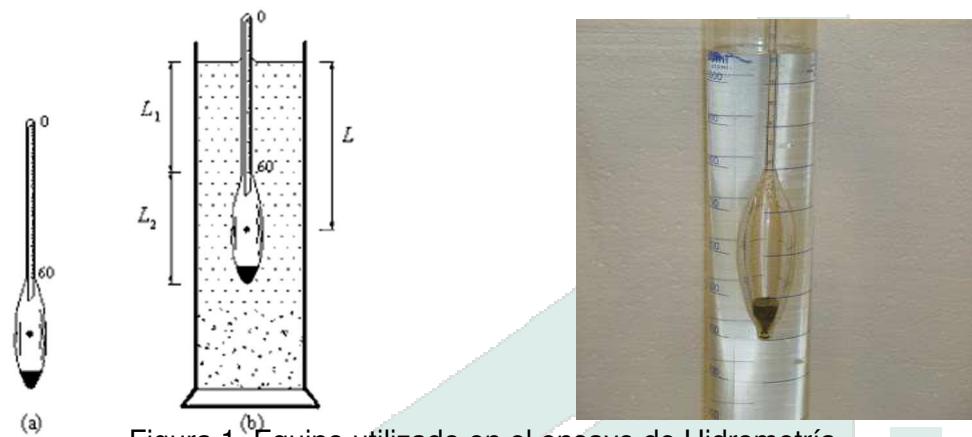


Figura 1. Equipo utilizado en el ensayo de Hidrometría

- Muestra de suelo con partículas menores al tamiz N° 200 (0.075mm)
- Balanza de sensibilidad 0.1 gr
- Probeta de sedimentación de 1000 ml
- Hidrómetro (preferiblemente modelo 152H)
- Agente dispersante (hexametafosfato de sodio)
- Aparato para realizar la dispersión del suelo (mezcladora de leche malteada)
- Termómetro
- Cronómetro

IV. PROCEDIMIENTO

1. Determine la corrección por ceros (Cc) y la corrección por meniscos (Cm)
2. Determine la gravedad específica de los sólidos, Gs, del material ensayado.
3. Tomar exactamente 50 gr de suelo que pasa el tamiz N° 200, secado al horno y pulverizado. Mezclarlo con 125 ml de solución al 4% de NaPO₃ (Hexametafosfato de sodio).
4. Transferir la mezcla al vaso de una máquina batidora de refrescos y añadir agua hasta llenar 2/3 del vaso. Mezclarlo por un tiempo entre 3 y 5 minutos.
5. Transferir el contenido del vaso de la batidora a la probeta de sedimentación, teniendo mucho cuidado de no perder material en el proceso. Añadir agua común hasta completar la marca de 1000 ml de la probeta. Preparar la probeta patrón de control con agua común y 125 ml de la solución

dispersante al 4%. Verificar que la temperatura del agua común sea igual para ambos recipientes, el de sedimentación y el de control.

6. Tomar un tapón de caucho Nº 12 (usar la palma de la mano si no hay tapón disponible) para tapar la boca de la probeta donde se encuentra en suspensión de suelo y agitarla cuidadosamente por cerca de 1 minuto. Poner sobre la mesa la probeta, remover el tapón y tomar lecturas a intervalos de tiempo de 1, 2, 3, 4, 8, 15, 30, 60 minutos, y 2, 4, 8, 16, 32, 64, 96, horas.
7. Los intervalos sugeridos de tiempo para la toma de las mediciones después de 2 horas de comenzado el ensayo son solo aproximados, ya que en realidad cualquier tiempo sería adecuado siempre y cuando sea tomado con suficiente espaciamiento para permitir una dispersión satisfactoria de los puntos en la gráfica.
8. Colocar el hidrómetro y el termómetro en el recipiente de control (el cual debe encontrarse a una temperatura que no difiera en más de 1°C de la mostrada por el recipiente con la suspensión de suelo). Tomar una lectura para la corrección por menisco en el hidrómetro dentro de la probeta de control
9. Registrar la temperatura de la suspensión suelo agua con una precisión de 1°C para cada medición del hidrómetro.
10. Entre lectura y lectura del hidrómetro se debe guardar éste y el termómetro en la probeta de control (la cual debe estar a la misma temperatura).

V. CÁLCULOS, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

1. Aplicar las correcciones por menisco a las lecturas del hidrómetro y obtener la altura de caída de las partículas "L" (tabla 6-5).
2. Si G_s es desconocido (o suministrado por el instructor), suponer un valor razonable entre 2.68 y 2.74. Con G_s y la temperatura del ensayo para cualquier lectura del hidrómetro, entrar en la tabla 6-4 para obtener el valor correspondiente de K . Con los valores de K , L y el tiempo transcurrido, para dichas lecturas, calcular los valores para D utilizando la ecuación:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}}$$

3. Calcule la lectura corregida del hidrómetro a través de la ecuación

$$R_c = R_{Real} - C_{Ceros} + C_{Temperatura}$$

4. Calcular el porcentaje de material más fino correspondiente al diámetro de partícula D del paso 1

$$\% \text{ mas fino} = \frac{R_c \alpha}{W_s} \times 100$$

Si G_s no es igual a 2.65, es posible calcular la constante α por la expresión:

$$\alpha = \frac{G_s(1.65)}{(G_s - 1)2.65}$$

5. Utilizar los datos de tamaño de partículas "D" y porcentaje más fino para dibujar la curva correspondiente a la distribución del tamaño de granos, bien sobre el formato en el que se dibujó la curva de distribución granulométrica del método mecánico o sobre un nuevo formato de suelo usado.

VI. GUIA SUGERIDA

- 1) ¿Cuál es el propósito del análisis por hidrómetro? ¿En qué principio físico se basa el análisis del hidrómetro?
- 2) ¿Qué cantidad física es leída sobre el tronco de un hidrómetro 152H? en que unidades está expresada esta cantidad?
- 3) El hidrómetro sube o baja durante el ensayo de sedimentación de las partículas de suelo? ¿A qué se debe esto?
- 4) ¿Por qué se debe retirar el hidrómetro de la probeta de sedimentación después de cada lectura?
- 5) ¿Por qué razón se agita la suspensión al comienzo de la prueba del hidrómetro?
- 6) ¿Cuál es la dimensión física de la viscosidad utilizada en la ley de Stokes? ¿En qué unidad se expresa habitualmente?

VII. REFERENCIA

- Bardet, Jean Pierre. Experimental Soil Mechanics
- Bowles, Joseph. Manual de laboratorios de mecánica de suelos
- Das, Braja M. Fundamentos de Ingeniería geotécnica,
- Normas ASTM. (D 421-58 y D 422-63)
- Normas AASHTO (T 88-70 y T 87-70)



UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
GEOTECNIA I

GRANULOMETRIA POR HIDROMETRO

NORMAS

**ASTM
D422-63**

**AASHTO
T 88-70**

PROYECTO:

LOCALIZACIÓN:

DIRECCION:

FECHA:

APIQUE N°:

MUESTRA N°:

PROF.:

Gs =	
α =	

Corrección por Ceros=	
Corrección por Menisco=	

Peso del suelo=

CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA



TABLA 2.1 PROPIEDADES DEL AGUA DESTILADA

Temp. (°C)	Peso unitario del agua(g/cm ³)	Viscosidad del agua(poises)
4	1,000	0.01567
16	0.99897	0.01111
17	0.9980	0.01083
18	0.99862	0.01056
19	0.99844	0.01030
20	0.99823	0.01005
21	0.99802	0.00981
22	0.99780	0.00958
23	0.99757	0.00936
24	0.99733	0.00914
25	0.99708	0.00894
26	0.99682	0.00874
27	0.99655	0.00855
28	0.99627	0.00836
29	0.99598	0.00818
30	0.99568	0.00801

TABLA 2.2 FACTORES DE CORRECION DE α PARA EL PESO UNITARIO DE SOLIDOS

Peso unitario de los sólidos del suelo	Factor de corrección α
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.04

TABLA 2.3 FACTORES DE CORRECCION POR TEMPERATURA (C_T)

Temp. (°C)	C _T
15	-1.10
16	-0.90
17	-0.70
18	-0.50
19	-0.30
20	0.00
21	+0.20
22	+0.40
23	+0.70
24	+1.00
25	+1.30
26	+1.65
27	+2.00
28	+2.50
29	+3.05
30	+3.80

TABLA 2.4 VALORES DEL K PARA VARIAS COMBINACIONES DE PESOS UNITARIOS Y TEMPERATURAS

Temp. (°C)	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.0151	0.0148	0.0146	0.0144	0.0141	0.0139	0.0137	0.0136
17	0.0149	0.0146	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134
18	0.0148	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132
19	0.0145	0.0143	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0131
20	0.0143	0.0141	0.0139	0.0137	0.0134	0.0133	0.0131	0.0129
21	0.0141	0.0139	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127
22	0.0140	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0128	0.0126
23	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124
24	0.0137	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0125	0.0123
25	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0122
26	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0124	0.0122	0.0120
27	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0119
28	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0123	0.0121	0.0119	0.0117
29	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0121	0.0120	0.0118	0.0116
30	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0118	0.0117	0.0115

TABLA 2-5 Valores de L (Profundidad efectiva) para usar en la fórmula de Stokes en la determinación de diámetros de partículas con el hidrómetro ASTM 152H

Lectura original del hidrómetro	Profundidad efectiva <i>L</i> (cm)	Lectura original del hidrómetro	Profundidad efectiva <i>L</i> (cm)	Lectura original del hidrómetro(co)	Profundidad efectiva <i>L</i> (cm)
0	16.3	21	12.9	42	9
1	16.1	22	12.7	43	9
2	16.0	23	12.5	44	9
3	15.8	24	12.4	45	8
4	15.6	25	12.2	46	8
5	15.5	26	12.0	47	8
6	15.3	27	11.9	48	8
7	15.2	28	11.7	49	8
8	15.0	29	11.5	50	8
9	14.8	30	11.4	51	7
10	14.7	31	11.2	52	7
11	14.5	32	11.1	53	7
12	14.3	33	10.9	54	7
13	14.2	34	10.7	55	7
14	14.0	35	10.5	56	7
15	13.8	36	10.4	57	7
16	13.7	37	10.2	58	6
17	13.5	38	10.1	59	6
18	13.3	39	9.9	60	6
19	13.2	40	9.7		
20	13.0	41	9.6		



UNIVERSIDAD DE SUCRE FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	VERSION: 02	
PRÁCTICA N° 3: DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG DE LOS SUELOS.	FECHA DE REVISÓN: 11-04-2019	ELABORÓ: ING. CARLOS MEDINA

NORMAS: ASTM D 4318-93, AASHTO T 89-90 y T 90-87

I. 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 del comportamiento diferente 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 aumentando 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 compresión y tensión considerable.

Arbitriamente Atterberg marcó las fronteras de los cuatro estados en que pueden presentarse los materiales granulares muy finos mediante la fijación de los siguientes límites: Líquido (L.L), Plástico (L.P.), y de contracción (L.C.) y mediante ellos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio (Ver figura 1).

Puede considerarse que los límites de Atterberg son ensayos de laboratorio normalizados que permiten obtener los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. Con ellos, es posible clasificar el suelo en la Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification System, USCS) y también en la Clasificación de la AASHTO de carreteras. Estos límites son válidos para suelos finos y para la porción de finos de suelos granulares.

Para la determinación de estos límites es necesario moldear la muestra de suelo destruyendo su estructura original, por lo que es absolutamente necesaria una descripción previa del suelo en sus condiciones naturales. Para realizar los límites de Atterberg se trabaja con todo el material menor que el tamiz Nº 40 (0,425 mm). Esto quiere decir que no sólo se trabaja con la parte fina del suelo (menor al tamiz Nº 200), sino que se incluye igualmente la fracción de arena fina.

Definiciones

- a) **Límite Líquido (LL):** Es el contenido de humedad por debajo de la cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en la frontera de cambiar su comportamiento al de un fluido muy viscoso
- b) **Límite Plástico (LP):** Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar al suelo como un material no plástico
- c) **Índice de Plasticidad (IP):** es la diferencia entre los límites líquido y plástico, es decir, el rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene con características plásticas



Figura 1. Estados de consistencia de suelos finos y Límites de Atterberg

II. OBJETIVOS

- Introducir al estudiante al procedimiento para la determinación de los Límites Líquido, Límite Plástico y Límite de Contracción de una muestra de suelo.
- Determinar experimentalmente los diferentes límites de los estados de consistencia de un suelo
- Establecer las diferencias de consistencia de un suelo a diferentes contenidos de humedad.
- Realizar una descripción previa del suelo en sus condiciones naturales
- Realizar un análisis de los datos obtenidos para el suelo ensayado y los encontrados en la literatura.
- Realizar la clasificación del suelo usado en las tres primeras prácticas.

III. EQUIPOS Y MATERIALES



Figura 2. Equipo utilizado en el ensayo de Límites de Atterberg

- Aparato de Casagrande, incluyendo la solera plana y el ranurador trapezoidal.
- Espátulas flexibles.
- Tamiz N° 40.
- Balanza con sensibilidad de 0.01gr
- Horno con temperatura constante de 100 a 110º C.
- Recipientes de humedad con su tapa
- Lamina de vidrio o acrílico

IV. PROCEDIMIENTO

LÍMITE LÍQUIDO

1. Cada grupo debe pulverizar una cantidad suficiente de suelo secado al aire, para obtener una muestra representativa del material que pase a través del tamiz N° 40 de alrededor de 250 ± 10 g, obtenido de acuerdo con la norma AASHTO 387-80.

No es conveniente secar el suelo al horno para pasarlo a través del tamiz N° 40, pues esta práctica reduce el valor real de los límites líquidos y plásticos del suelo.

Nota: Cuando se efectúa además la determinación del límite de contracción, aumentar el tamaño de muestra requerida para dicho ensayo.

2. A continuación, cada grupo debe verificar que la altura de caída de la cazuela de Casagrande sea exactamente de 1 cm (± 0.1 mm). Utilizando el calibrador de 10mm adosado al ranurador. De ser necesario, se aflojan los tornillos de fijación y se mueve el ajuste hasta obtener la altura de caída requerida. Si el ajuste es correcto se escuchará un ligero campanilleo al golpear el tope de la taza; si la taza se levanta por sobre el calibre o no se escucha ningún sonido debe realizarse un nuevo ajuste.
3. Colocar el suelo en un recipiente de porcelana, añadir una pequeña cantidad de agua y mezclar hasta obtener un color uniforme. Una mezcla pobre del conjunto suelo-agua es generalmente causa adicional de error en el ensayo.
4. Cuando el color es uniforme en toda la mezcla y ésta adquiere una apariencia cremosa, su estado es adecuado en general. Se debe continuar añadiendo pequeñas cantidades adicionales de agua y mezclando cada vez hasta obtener una mezcla homogénea. Cuando se encuentre el suelo en un punto de consistencia (pegajosidad) tal que se pueda estimar (o simplemente hacer un ensayo de prueba) que tomará alrededor de 50 golpes para cerrar la ranura en una longitud de 12.7 mm, remover alrededor entre 20g y 30g de esta muestra para la determinación del límite plástico.
5. Adicionar un poco más de agua de manera que la consistencia permita un número de golpes para la falla en el rango de 30 a 40.
6. Colocar en la cazuela una pequeña cantidad de suelo con ayuda de una espátula metálica hasta la profundidad adecuada para el trabajo de la herramienta ranuradora. Emparejar la superficie de la pasta de suelo, y mediante el uso de la ranuradora, cortar una ranura clara, recta, que separe completamente la masa de suelo en dos partes.
7. Accionar la manivela a una velocidad de dos (2) vueltas por segundo y contar el número de golpes necesarios para el cierre de la ranura. Si se permite una demora innecesaria en este proceso, y la humedad ambiental del laboratorio es baja se puede secar la superficie de la muestra, lo cual afectará el conteo de los golpes. Este efecto mostrará cuando se dibujen los datos una tendencia errática de los puntos en el plano.
8. Tomar una muestra para medir el contenido de humedad. La muestra deberá tomarse de la zona donde se cerró la ranura y debe tener cerca de 40 g.
9. Remover los restos de suelo de la cazuela y devolverlos al recipiente donde se había preparado la muestra. Limpiar perfectamente la cazuela.
10. Adicionar una pequeña cantidad de agua al recipiente de porcelana de preparación de suelo y mezclar cuidadosamente hasta obtener una coloración homogénea y consistencia para obtener un número de golpes entre 25 y 30 aproximadamente. Repetir los pasos del 6 en adelante.
11. Repetir la secuencia para dos (2) ensayos adicionales con número de golpes entre 20 y 25 y entre 15 y 20, respectivamente para un total de cuatro determinaciones en el ensayo.
12. Pesar las cuatro muestras de humedad obtenidas en los diferentes ensayos, y colocar los recipientes en un horno a 110°C para que se seque durante la noche.

LÍMITE PLÁSTICO

1. Dividir en varios pedazos o porciones pequeñas la muestra de 20 a 30 g de suelo que se había separado con anterioridad durante la preparación de la muestra para Límite Líquido.

2. Enrollar el suelo con la mano extendida sobre una placa de vidrio o sobre un pedazo de acrílico, con presión suficiente para moldearlo en forma de cilindro o hilo de diámetro uniforme por la acción de unos 80 a 90 golpes o movimientos de mano por minuto (un golpe= movimiento hacia adelante y hacia atrás).
3. Cuando el diámetro del cilindro llegue a 3mm (1/8 de pulgada) se debe romper en pequeños pedazos, y con ellos moldear nuevamente unas bolas o masas que a su vez vuelvan a enrollarse. El proceso de hacer bolas o masas de suelo y enrollarlas debe continuarse alternativamente hasta cuando el cilindro de suelo se rompa bajo la presión de enrollamiento y no permita que se le enrolle adicionalmente.

Si el cilindro se desmorona a un diámetro superior a 3mm, esta condición es satisfactoria para definir el límite plástico si el cilindro se había enrollado con anterioridad hasta más o menos 3mm. La falla del cilindro se puede definir de la siguiente manera:

- a) Simplemente por separación en pequeños pedazos
- b) Por desprendimiento de escamas de forma tubular (cilindros huecos) de dentro hacia afuera del cilindro o hilo de suelo
- c) Pedacitos sólidos en forma de barril de 6 a 8 mm de largo (para arcillas altamente plásticas)

Para producir la falla no es necesario reducir la velocidad de enrollado y/o la presión de la mano cuando se llega a 3 mm de diámetro. Los suelos de baja plasticidad son una excepción en este sentido, en estos casos la bola inicial debe ser del orden de 3mm antes de empezar a enrollar con la mano.

4. Esta secuencia debe repetirse el número de veces que se requiera para producir suficientes pedazos de cilindro que permitan llenar dos (2) recipiente de humedad,
5. Pesar los dos recipientes y colocarlos dentro del horno a 110°C para que se seque durante la noche. Determinar la masa del recipiente más la muestra seca

LÍMITE DE CONTRACCIÓN (MÉTODO DE LA PARAFINA)

1. Tome cerca de 40 o 50gr de material usado para el ensayo de los límites líquido y plástico. Este material debe pasar a través del tamiz N° 40. Coloque el material en una cazuela plástica, adicione agua y mezcle con una espátula hasta obtener una pasta de suelo con una humedad superior al límite líquido.
2. Determine la masa de la cápsula para el límite de contracción, primero vacía y llena con agua, para determinar su volumen (V).
3. Cubra ligeramente la parte interior de la cápsula con una capa de vaselina. Esta capa prevendrá que el suelo se adhiera a la cápsula y se agriete mientras se seque en el horno. Mida la masa de la cápsula con la capa de vaselina.
4. Llene la cápsula con la pasta de suelo hasta la tercera parte. Golpee suavemente la cápsula con el mango de la espátula permitiendo que la pasta de suelo fluya hasta las paredes de la cápsula y permita salir las burbujas de aire. Adicione una segunda capa de suelo igual a la primera, y de nuevo golpee suavemente la muestra para liberar el aire atrapado. Adicione más suelo hasta llenar la cápsula. Retire el exceso de material de la cápsula con la espátula y limpíe el material adherido en la parte externa de la cápsula. Determine la masa de la cápsula más el suelo húmedo.

- Coloque la cápsula dentro del horno a 110°C para que se seque durante la noche. Saque la cápsula del horno, deje enfriar y determine la masa de la cápsula más el suelo seco. Tome la muestra de suelo seco y átela a 40 cm de cuerda de pescar (nylon).
- Sumerja la muestra de suelo en un recipiente de parafina caliente. La parafina debe ser calentada justo a la temperatura de derretimiento. Repita el proceso de inmersión varias veces hasta que la muestra esté totalmente cubierta de parafina. Si la muestra es frágil y tiene tendencia a desintegrarse, use una pequeña brocha para cubrirla con parafina antes de sumergirla completamente en el recipiente con la parafina caliente.
- Después que la parafina se ha solidificado sobre la muestra, determine la masa de la muestra seca más parafina.
- Tome una probeta y llene con agua hasta un volumen determinado. Coloque la probeta con el agua sobre una superficie plana y tome la muestra por la cuerda de pescar e introduzcala en la probeta. Anote el valor del volumen del agua en la probeta con la muestra sumergida

V. CÁLCULOS, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Es necesario regresar al laboratorio al día siguiente y pesar todas las muestras secadas en el horno para poder calcular los contenidos de humedad correspondientes.

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

- Dibujar la gráfica de contenido de humedad contra el número de golpes resultantes del ensayo en un papel semilogarítmico. Los puntos obtenidos tienden a alinearse sobre una recta lo que permite interpolar para la determinación de la ordenada LL (Límite Líquido) para la abscisa de N = 25 golpes.

Nota: Método de un punto.

Se puede obtener el valor del Límite líquido a través de una sola determinación. Este método es válido para suelos de mismo tipo y formación geológica; se ha observado que tales suelos tienen curvas de flujo de iguales inclinación, en escala semilogarítmica. Se usa la fórmula

$$LL = w * \left(\frac{N}{25} \right)^{\tan \alpha}$$

En donde:

LL = límite líquido.

w = contenido de humedad correspondiente a N .

N = número de golpes

α = inclinación curva de flujo (escala semilogarítmica)

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO

- El límite plástico del suelo ensayado corresponde al promedio aritmético de las humedades obtenidas para las dos muestras ensayadas.

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN

- Determinar la humedad que presenta la muestra usada en el ensayo del límite de contracción.
- Determine la masa de la muestra de suelo seco (pastilla), denotada como M_0

- Determine el volumen de la muestra de suelo seco (pastilla) a través de la diferencia de los volúmenes final e inicial de la probeta.
- Calcule el límite de contracción del suelo a través de la siguiente fórmula

$$LC = \omega - \left[\frac{(V - V_0)\rho_w}{M_0} \right] * 100$$

En donde:

$$\begin{aligned} LC &= \text{Límite de contracción} \\ \omega &= \text{Contenido de humedad del suelo al momento del ensayo} \\ V &= \text{Volumen del suelo húmedo} \\ V_0 &= \text{Volumen del suelo seco} \\ M_0 &= \text{Masa del suelo seco (pastilla)} \\ \rho_w &= \text{Densidad del agua} \end{aligned}$$

VI. GUIA SUGERIDA

- ¿Por qué utilizamos los límites de Atterberg para caracterizar los suelos de grano fino? ¿Por qué el resultado del análisis del hidrómetro es insuficiente para este propósito?
- ¿La resistencia al corte en suelos de grano fino aumenta o disminuye con el contenido de agua?
- Defina lo que es la actividad de las arcillas. ¿Para qué se usa este concepto?
- Es posible que una muestra de arcilla tenga un contenido de agua igual al 700%? ¿Puedes dar un ejemplo?
- ¿Por qué usamos mercurio en la prueba de límite de contracción? ¿Hay otra técnica para determinar el límite de contracción? ¿Cuál?
- ¿Por qué cubrimos la capsula del ensayo del límite de contracción con vaselina o grasa de silicona?

VII. REFERENCIAS

- Bardet, Jean Pierre. Experimental Soil Mechanics
- Bowles, Joseph. Manual de laboratorios de mecánica de suelos
- Das, Braja M. Fundamentos de Ingeniería geotécnica
- Norma ASTM. (D 4318-95a)
- Norma AASHTO (T 89 y T 90)



PROYECTO:

LOCALIZACIÓN:

DIRECCION:

FECHA:

APIQUE N°:

MUESTRA N°:

PROF.:

LÍMITE LÍQUIDO

	1	2	3	4
Masa del recipiente (gr)				
Masa del recipiente + suelo húmedo (gr)				
Masa del recipiente + suelo seco (gr)				
Masa del agua (gr)				
Masa del suelo seco (gr)				
Contenido de Humedad (%)				
Número de golpes				

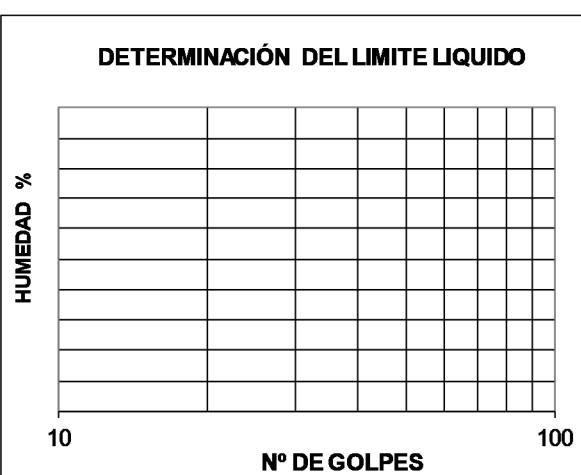
LÍMITE PLÁSTICO

	1	2
Masa del recipiente (gr)		
Masa del recipiente + suelo húmedo (gr)		
Masa del recipiente + suelo seco (gr)		
Masa del agua (gr)		
Masa del suelo seco (gr)		
Contenido de Humedad (%)		

LÍMITE DE CONTRACCIÓN

	1	2
Masa del recipiente (gr)		
Masa del recipiente lleno de agua (gr)		
Volumen del recipiente, V , (cm^3)		
Masa del recipiente + vaselina (gr)		
Masa del recipiente + suelo húmedo (gr)		
Masa del recipiente + suelo seco (gr)		
Masa del agua (gr)		
Masa del suelo seco; W_o , (gr)		
Masa del suelo seco + Parafina (gr)		
Contenido de Humedad del suelo, ω , (%)		
Volumen incial agua en la probeta, ml		
Volumen final agua en la probeta, ml		
Volumen suelo seco + parafina (cm^3)		
Volumen pastilla de suelo seco; V_0 , (cm^3)		
$V - V_o$		
$100 \cdot (V - V_o) / W_o$		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO



LÍMITE LÍQUIDO, %	
LÍMITE PLÁSTICO, %	
INDICE DE PLASTICIDAD, %	
LÍMITE DE CONTRACCIÓN, %	

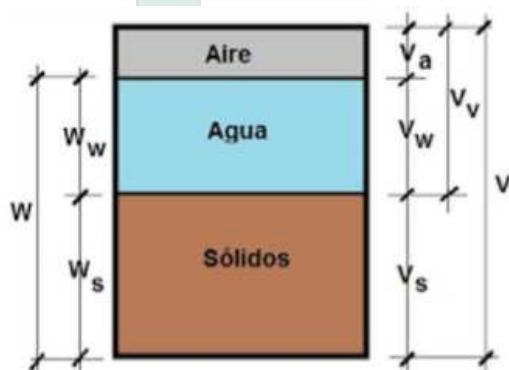
**PRÁCTICA N° 4: DETERMINACIÓN DE LAS
RELACIONES VOLUMÉTRICAS Y GRAVIMETRICAS DE
LOS SUELOS**

FECHA DE REVISIÓN:
3-05-2019
ELABORÓ:
ING. CARLOS MEDINA



I. GENERALIDADES

En un suelo se distinguen tres fases constituyentes: la sólida, la líquida y la gaseosa. La fase sólida son las partículas minerales del suelo; la líquida está constituida por el agua (libre), aunque en el suelo pueden existir otros líquidos de menor significación; la fase gaseosa comprende sobre todo el aire, pero pueden estar presentes otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, etc.).



Donde:

W= Peso del suelo
Ww= Peso del agua
Ws= peso de los sólidos

V= Volumen del suelo
Vv= Volumen de los vacíos
Vw: Volumen de agua
Vs: Volumen de los sólidos
Va= Volumen del aire

Figura 1. Esquema de las fases que componen un suelo

Se dice que un suelo está totalmente saturado cuando todos sus vacíos están ocupados por agua. Un suelo en tal circunstancia consta, como caso particular de solo dos fases, la sólida y la líquida.

Las relaciones entre las fases del suelo tienen una amplia aplicación en la Mecánica de Suelos para determinar la masa de un suelo, la magnitud de los esfuerzos aplicados al suelo por un cimiento y los empujes sobre estructuras de contención.

La determinación de las relaciones volumétricas de los suelos es importantísima, para el manejo compresible de las propiedades mecánicas de los suelos y un completo dominio de su significado y sentido físico; es imprescindible para poder expresar en forma asequible los datos y conclusiones de la Mecánica de Suelos. Su determinación es, en principio muy sencilla pero se experimenta considerable dificultad cuando se requiere absoluta exactitud, es necesario un estudio cuidadoso de todos los aspectos y observaciones.

Se entiende por Relaciones Volumétricas, las relaciones de volúmenes como:

- Relación de Vacíos "e". Se llama Relación de Vacíos, Oquedad o Índice de poros a la relación entre el volumen de los vacíos y el volumen de los sólidos de un suelo

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

La cual puede variar de cero hasta infinito, en la práctica no suele hallarse valores menores de 0.25 (arenas muy compactas con finos) ni mayores de 15, en caso de arcillas compresibles.

- Porosidad "n". Es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total del suelo. Se expresa como porcentaje o al tanto por uno

$$n = \frac{V_V}{V} * 100$$

Esta relación puede variar de 0, en un suelo ideal con solo fase sólida a 100 (espacio vacío). Los valores reales suelen oscilar entre el 20% y 95%

- c. Grado de Saturación. Es la relación entre su volumen de agua y el volumen de sus vacíos. Se expresa en porcentaje o al tanto por uno

$$S_r = \frac{V_w}{V_V} * 100$$

Varía de cero (Suelo Seco) a 100% (Suelo totalmente saturado).

- d. Contenido de aire. Es la relación entre su volumen de agua y el volumen total. Se expresa en porcentaje o al tanto por uno

$$A_r = \frac{V_a}{V_V} * 100$$

Por otro lado, las Relaciones Gravimétricas son aquellas expresiones que combinan valores de pesos, y valores de pesos y volúmenes. Ellas son:

- e. Humedad. Se define como la relación del peso del agua entre el peso de los sólidos en un volumen dado de suelo. Se expresa en porcentaje

$$w = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

- f. Peso Unitario. Se define como el peso de un suelo por volumen unitario de suelo. Se expresa en KN/m³

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

- g. Peso unitario seco. Se define como la relación entre el peso de las partículas sólidas y el volumen total de la muestra

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

- h. Peso unitario de los sólidos. Se define como la relación entre el peso de las partículas sólidas y su correspondiente volumen

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

- i. Gravedad específica de los sólidos. Es la relación existente entre el peso unitario de los sólidos expresada en relación al peso unitario del agua

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$$

II. OBJETIVOS

- Introducir al estudiante al concepto de pesos unitarios seco, parcialmente saturado y saturado, relación de vacío, estructura del suelo
- Determinar el valor numérico de las relaciones de volúmenes con base en los datos de las pruebas de humedad y gravedad específica.

- Identificar cuáles son las relaciones volumétricas y gravimétricas que son constantes en las diferentes fases en las que se encuentre el suelo.

III. EQUIPOS Y MATERIALES



Figura 2. Equipo utilizado en el ensayo de Relaciones de fases de los suelos

- Recipiente de vidrio de volumen conocido
- Cantidad de material granular lavado y seco al horno
- Balanza de sensibilidad 0.1 gr
- Probeta graduada de 500 ml

IV. PROCEDIMIENTO

- 1) Cada grupo deberá pesar cuidadosamente el recipiente vacío y el recipiente lleno con agua
- 2) Introducir el suelo en el recipiente, enrasar cuidadosamente la superficie y pesar. Si el volumen de suelo cambia debido a vibraciones en el proceso de pesaje, se introducen cambios en el estado (estructura del suelo) del material. Añadir suelo adicional, volver a pesar y/o repetir tantas veces sea necesario para eliminar las vibraciones que causen cambio en el volumen de material. Registra el peso final del recipiente con suelo.
- 3) Llenar el cilindro graduado (probeta) con agua del grifo y verter agua cuidadosamente en el recipiente con el suelo. Llenar el recipiente hasta la mitad y registrar el peso del suelo más agua más recipiente (fase parcialmente saturada).
- 4) Llenar el recipiente hasta el nivel superior sin permitir que el agua se desborde y se pierda, registrar el peso del suelo más agua más recipiente (fase saturada).
- 5) Retirar con cuidado el material del recipiente de vidrio y verterlo en una bandeja para próximos ensayos.

V. CÁLCULOS, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 1) Determinar la masa de agua que llena el recipiente de vidrio, la masa del suelo seco que llena el recipiente.
- 2) Elaborar un esquema donde se muestren los volúmenes y los pesos del material en los 3 estados y determinar las relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo en los 3 estados (seco, parcialmente saturado y saturado)
- 3) Comentar las limitaciones del cálculo de la gravedad específica de los sólidos (G_s) de esta forma

VI. GUIA SUGERIDA

- 1) ¿Cuáles son los valores típicos para la relación de vacíos para las arenas y las arcillas?
- 2) Mencione que relaciones son independientes del estado de humedad de un suelo (fases)
- 3) Mencione y explique las posibles fuentes de error existentes en el ensayo realizado
- 4) Comente las limitaciones del cálculo de la gravedad específica de los sólidos por este método

VII. REFERENCIAS

- Bardet, Jean Pierre. Experimental Soil Mechanics
- Bowles, Joseph. Manual de laboratorios de mecánica de suelos
- Das, Braja M. Fundamentos de Ingeniería geotécnica





PROYECTO:

LOCALIZACIÓN:

DIRECCION:

FECHA:

APIQUE N°:

MUESTRAN°:

PROF.:

DATOS DEL ENSAYO

	1	2	3
Masa del recipiente de vidrio vacío (gr)			
Masa del recipiente de vidrio lleno de agua (gr)			
Masa del recipiente de vidrio lleno de suelo (gr)			
Masa del recipiente de vidrio + suelo + agua, P. Sat, (gr)			
Masa del recipiente de vidrio + suelo + agua, Saturada, (gr)			
Volumen del recipiente de vidrio (cm^3)			
Masa de las partículas sólidas del suelo (gr)			
Volumen de agua en condición Parcialmente Saturada (cm^3)			
Volumen de agua en condición Saturada (cm^3)			

RELACIONES VOLUMÉTRICAS Y GRAVIMÉTRICAS	ESTADO SECO	ESTADO P. SATURADO	ESTADO SATURADO
Relación de Vacíos (e)			
Porosidad (n)	%		
Grado de Saturación (Sr)	%		
Contenido de Aire (Ar)	%		
Humedad (w)	%		
Peso Unitario Seco (γ_d)	kN/m^3		
Peso Unitario (γ)	kN/m^3		
Peso Unitario Saturado (γ_{sat})	kN/m^3		
Peso Unitario de los sólidos (γ_s)	kN/m^3		
Gravedad específica de los sólidos (Gs)			





NORMAS: ASTM D2937-91, AASHTO: T-180

I. GENERALIDADES

El peso unitario es una propiedad índice de los suelos que se emplea normalmente en todos los tipos de suelo. Es una de las relaciones gravimétricas de mayor utilidad en la resolución de problemas en la mecánica de suelos.

El peso unitario tiene gran aplicación en geotecnia debido a las correlaciones que existen con otros parámetros de ingeniería tales como el ángulo de fricción interno y la resistencia en el ensayo de penetración estándar.

Por otra parte, muchas fórmulas que permiten estimar los asentamientos posibles de estructuras fundadas sobre suelos granulares, están basadas en el peso unitario. Existen sin embargo dificultades para determinar el peso unitario en suelos granulares de grandes tamaños. Ya que obtener muestras inalteradas de suelos granulares es impracticable, a menos que ellas sean obtenidas por procedimientos tan especiales y costosos como el congelamiento, el peso unitario adquiere importancia porque permitiría reproducir esta condición de estado en el laboratorio.

El procedimiento para obtener el peso unitario de suelos cohesivos se basa en el principio de Arquímedes, a través del cual el volumen de una muestra se determina por el volumen de agua que desplaza.

II. OBJETIVOS

- Introducir al estudiante al concepto de pesos unitarios de los suelos cohesivos y su aplicación en la mecánica de suelos.
- Calcular el peso unitario húmedo, o densidad aparente, de una muestra de suelo cohesivo.
- Calcular el peso unitario seco de la muestra de suelo ensayado
- Comprender los alcances y limitaciones del ensayo realizado
- Clasificar el tipo de suelo ensayado con base en el valor del peso unitario obtenido.

III. EQUIPOS Y MATERIALES



Figura 1. Equipo utilizado en el ensayo de Peso unitario de los suelos cohesivos

- Equipo extractor de muestras inalteradas de suelos cohesivos (opcional)
- Equipo para corte y tallado de las muestras
- Balanza de sensibilidad 0.1 gr – Vernier o nonio calibrador
- Recipiente de volumen conocido (Beacker)
- Cilindro de pared delgada (probeta) graduada
- Horno para determinación de humedades

IV. PROCEDIMIENTO

Para la realización de la práctica, se debe contar con una muestra de suelo cohesivo que deberá ser obtenida de campo siguiendo el siguiente procedimiento:

- 1) La superficie donde se va a obtener la muestra, debe ser nivelada y limpiarse de partículas sueltas. Se aplica sobre la superficie interior del cilindro del equipo extractor, una delgada capa de aceite para motor. Se coloca el cilindro extractor sobre la superficie del suelo y se realiza el procedimiento de hincado para su obtención.
- 2) La muestra de suelo debe ser sacada del tubo de pared delgada con ayuda del equipo extractor. La muestra, en caso de no ser ensayada el mismo día, deberá ser envuelta en papel aluminio o plástico de cocina, para que conserve su humedad hasta el día del ensayo en el laboratorio.

METODO CON DETERMINACION GEOMETRICA DEL VOLUMEN DE LA MUESTRA

Este procedimiento puede utilizarse para obtener el volumen desplazado de cualquier suelo cohesivo que no se destruya por estar dentro del agua de 1 a 2 min requeridos para hacer el ensayo. No es aplicable a material poroso o a suelo muy seco, a menos que se encuentre en un alto estado de densidad ya que una absorción apreciable de agua por capilaridad o por cualquier otra forma puede afectar los resultados.

- 1) Tomar la muestra y tallarla hasta darle una forma cilíndrica.
- 2) Determinar tres (3) medidas de altura y diámetro de la muestra para la determinación geométrica de su volumen.
- 3) Tomar la masa de la muestra de suelo tallada y enrasada.
- 4) Tomar la probeta y llenarla con agua hasta un volumen de 500 ml
- 5) Introducir la muestra de suelo en el beacker de volumen conocido (500 ml), llenar rápidamente con agua hasta el aforo y registrar el volumen final del agua en la probeta. Dicho volumen final de la probeta, corresponde al volumen de la muestra de suelo ensayada.
- 6) Vaciar rápidamente el beacker, retirar la muestra de suelo y secar superficialmente con toallas de papel y volver a determinar su masa. Si las masas inicial y final se encuentran dentro una aproximación de 1 a 2 gramos, el ensayo es satisfactorio.
- 7) Tomar una muestra del material resultante del tallado de la muestra cilíndrica de suelo, para determinar su contenido de humedad.

METODO CON USO DE PARAFINA

Este procedimiento es recomendado para aquellos suelos que presenten una cantidad apreciable de poros en su superficie

- 1) Determinar la masa de la muestra de suelo a ensayar.
- 2) Tome la muestra de suelo y átela a 40 cm de cuerda de pescar (nylon).
- 3) Sumerja la muestra de suelo en un recipiente de parafina caliente. La parafina debe ser calentada justo a la temperatura de derretimiento. Repita el proceso de inmersión varias veces hasta que la muestra esté totalmente cubierta de parafina. Si la muestra es frágil y tiene tendencia a desintegrarse, use una pequeña brocha para cubrirla con parafina antes de sumergirla completamente en el recipiente con la parafina caliente.
- 4) Después que la parafina se ha solidificado sobre la muestra, determine la masa de la muestra más parafina.
- 5) Tome una probeta y llene con agua hasta un volumen determinado. Coloque la probeta con el agua sobre una superficie plana y tome la muestra por la cuerda de pescar e intodúzcala en la probeta. Anote el valor del volumen del agua en la probeta con la muestra sumergida. El Volumen de agua desplazado corresponde al volumen de la muestra de suelo más la parafina

V. CÁLCULOS, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 1) Calcular los pesos unitarios húmedo y seco del suelo

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{\gamma}{1+w}$$

VI. GUIA SUGERIDA

- 1) ¿Cuáles son los valores típicos del peso unitario húmedo y seco de los suelos?
- 2) ¿Qué precauciones se deben tener para poder medir el peso unitario de suelos con muchas bolsas de aire? ¿Podría o no llenarse estos agujeros con cera?
- 3) ¿Puede usted aplicar la técnica usada en la medición del peso unitario de las arenas? Explique
- 4) ¿Explique si es posible o no usar otro líquido diferente al agua?

VII. REFERENCIAS

- Bardet, Jean Pierre. Experimental Soil Mechanics
- Bowles, Joseph. Manual de laboratorios de mecánica de suelos
- Das, Braja M. Fundamentos de Ingeniería geotécnica
- Norma ASTM. (D2937-91)
- Norma AASHTO (T 180)



PROYECTO:

LOCALIZACIÓN:

DIRECCION:

FECHA:

APIQUE N°:

MUESTRA N°:

PROF.:

DATOS DEL ENSAYO (VOLUMEN POR GEOMETRIA)

	1	2	3
Masa de la muestra, M, (gr)			
Diámetro de la muestra, ϕ , (cm)			
Altura de la muestra, h, (cm)			
Lectura incial agua en la probeta, ml			
Lectura final agua en la probeta, ml			
Volumen del suelo, V_t , (cm^3)			
Peso Unitario húmedo, kN/m^3			
Contenido de Humedad de la muestra (%)			
Peso Unitario seco, kN/m^3			

DATOS DEL ENSAYO (VOLUMEN POR USO DE PARAFINA)

	1	2	3
Masa de la muestra, M, (gr)			
Masa de la muestra con parafina, M_p , (gr)			
Lectura incial agua en la probeta, ml			
Lectura final agua en la probeta, ml			
Volumen del suelo + parafina, V_t , (cm^3)			
Masa de la parafina, M_p , (gr)			
Volumen de la parafina, V_p , (cm^3)			
Volumen del suelo, V, (cm^3)			
Peso Unitario húmedo, kN/m^3			
Contenido de Humedad de la muestra (%)			
Peso Unitario seco, kN/m^3			

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

	1	2	3
Masa del recipiente (gr)			
Masa del recipiente + suelo húmedo (gr)			
Masa del recipiente + suelo seco (gr)			
Masa del agua (gr)			
Masa del suelo seco (gr)			
Contenido de Humedad (%)			

PRÁCTICA N° 6: _DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD
ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS

FECHA DE REVISIÓN:
14-05-2019
ELABORÓ:
ING. CARLOS MEDINA



NORMAS. ASTM D854-92; AASHTO T 100-70

I. GENERALIDADES

La gravedad específica es la relación entre el peso unitario de una sustancia y la de otra, tomada como patrón. Generalmente para sólidos y líquidos se emplea el agua destilada y para gases, el aire o el hidrógeno. También llamada peso específico.

En la práctica de la mecánica de suelos, la gravedad específica se define como la relación entre el peso unitario de las partículas sólidas y el peso unitario del agua, y se expresa por la siguiente ecuación:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$$

El término partículas sólidas significa partículas minerales que ocurren naturalmente y no son solubles fácilmente en agua. En consecuencia, la gravedad específica de los materiales que contengan materias extrañas (como cemento, cal y similares), materia soluble en agua (como el cloruro de sodio), y los suelos que contengan partículas con una gravedad específica menor que uno requiere un tratamiento especial o una definición calificada de su gravedad específica.

La gravedad específica de un suelo se utiliza en el cálculo de las relaciones de fase de los suelos, en los cálculos de los ensayos de granulometría por sedimentación, compresibilidad, compactación y potencial de expansión

II. OBJETIVOS

- Familiarizar al estudiante con el método para obtener la gravedad específica en suelos de tipo fino y granulares como las arenas.
- Determinar el peso promedio por unidad de volumen de partículas sólidas que constituyen un suelo
- Clasificar el tipo de suelo ensayado con base en los resultados obtenidos
- Reconocer las limitaciones del ensayo realizado

III. EQUIPOS Y MATERIALES



Figura 1. Equipo utilizado en el ensayo de Gravedad específica de los suelos

- Muestra seca de suelo de 50 ± 5 gr
- Picnómetro de 250 ml (idealmente se requiere de 500 ml)
- Embudo de vidrio de conducto largo
- Termómetro
- Dispositivo de succión neumática, capaz de producir el grado de vacío en la muestra.
- Platos de evaporación (o cacerolas para ser sometidas al horno)
- Balanza de sensibilidad 0.1 g

IV. PROCEDIMIENTO

- 1) Pesar 50 gr, aproximadamente de suelo previamente secado al horno y enfriado (W_s)
- 2) Pasar la muestra cuidadosamente a un frasco volumétrico seco y limpio, previamente calibrado.
- 3) Tomar el Picnómetro y llenarlo hasta 1/3 de su capacidad en volumen (83 ml) con agua destilada, con la precaución de no introducir cantidades notorias de aire y de no perder material.
- 4) Someter el anterior conjunto a extracción de aire mediante la bomba de vacío durante un tiempo.
- 5) La aspiración de aire deberá realizarse hasta cuándo no se note la presencia de aire dentro del Picnómetro. La succión de aire se caracteriza por la presencia de burbujas dentro del frasco. El tiempo de succión estará determinado por el tipo de suelo, así, para arenas, el tiempo de succión es cuestión de horas mientras que para materiales arcillosos la succión puede tomar más de un día.
- 6) Cuando se cumpla totalmente con la aspiración, se apagará el equipo de succión, se abrirán las válvulas para compensar las presiones y deberá llenarse la botella con agua destilada hasta 2/3 de su capacidad y se someterá nuevamente a vacío.
- 7) Cuando se haya extraído todo el aire del conjunto anterior enrasar con agua destilada hasta el aforo.
- 8) Deberá secarse exteriormente el picnómetro y acto seguido se pesará el picnómetro + agua + muestra. Este peso se denominará (W_{fws})
- 9) Tomar la temperatura del agua dentro del picnómetro.
- 10) Retirar la muestra de suelo del picnómetro y depositarla sobre un recipiente para secado en el horno. Deberá colocarse todo el material junto con el agua, sin que se pierda material. Este peso seco se comparará con el W_s previamente obtenido.
- 11) Pesar el picnómetro + agua hasta el aforo. Este peso se denominará (W_{fw}).
- 12) Limpiar y secar el equipo

V. CÁLCULOS, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El valor de la gravedad específica del suelo ensayado se puede obtener por la siguiente ecuación:

$$G_s = \frac{\alpha W_s}{W_{fw} + W_s + W_{fsw}}$$

Dónde: W_s = Peso seco del suelo

W_{fsw} = Peso del frasco + peso del suelo + peso del agua.

W_{fw} = Peso del frasco + peso del agua (de la curva de calibración).

G_s = Gravedad específica de las partículas sólidas del suelo.

α =es un factor de corrección de temperatura para corregir el peso unitario del agua En la siguiente tabla se muestran algunos valores de α :

Tabla 1. Valores del valor de corrección por temperatura, α

T °C	α	T °C	α	T °C	α
16	1.0007	22	0.9996	28	0.9982
17	1.0006	23	0.9993	29	0.9980
18	1.0004	24	0.9991	30	0.9978
19	1.0001	25	0.9989	31	0.9976
20	1.0000	26	0.9986	32	0.9974
21	0.9997	27	0.9984	33	0.9972

VI. GUIA SUGERIDA

- 1) ¿Cuáles son los valores típicos de la gravedad específica de los suelos?
- 2) ¿Puede usted aplicar la técnica descrita para medir la gravedad específica de un material más ligero que el agua?
- 3) ¿Cuál es el efecto de la temperatura del agua en la determinación de la gravedad específica de los suelos?
- 4) ¿Por qué se utiliza el vacío en la determinación de la Gravedad específica de los suelos?

VII. REFERENCIAS

- Bardet, Jean Pierre. Experimental Soil Mechanics
- Bowles, Joseph. Manual de laboratorios de mecánica de suelos
- Das, Braja M. Fundamentos de Ingeniería geotécnica
- Norma ASTM. (D854-92)
- Norma AASHTO (T 100-70)



UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
GEOTECNIA I

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS
SUELOS

NORMAS

ASTM
D 854-92

AASHTO
T 100-70

PROYECTO:

LOCALIZACIÓN:

DIRECCION:

FECHA:

APIQUE N°:

MUESTRA N°:

PROF.:

DATOS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

	1	2	3
Masa de la muestra, M, (gr)			
Masa del picnómetro lleno de agua, gr			
Masa del picnómetro + suelo lleno de agua, gr			
Lectura de la temperatura del agua, °C			
Factor de corrección por temperatura, α			
Masa del plato evaporador, gr			
Masa del plato evaporador + suelo húmedo, gr			
Masa del plato evaporador + suelo seco, gr			
Masa del suelo seco real, gr			
Gravedad específica de los sólidos, Gs			





NORMAS: ASTM D698-91, AASHTO T 99-90

I. GENERALIDADES

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo deformación de los mismos.

Este proceso implica una reducción más o menos rápida de los vacíos, como consecuencia de lo cual en el suelo ocurren importantes cambios de volúmenes, fundamentalmente ligados a pérdida de volumen de aire.

La compactación está relacionada con la densidad máxima o peso unitario seco máximo del suelo ($\gamma_d \text{ max}$), el cual para producirse es necesario que la masa del suelo tenga una humedad específica que se conoce como humedad óptima (w_{opt}).

La importancia de la compactación es obtener un suelo estructurado de tal manera, que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra.

El propósito de un ensayo de compactación en laboratorio es determinar la curva de compactación para una determinada energía de compactación. Esta curva considera en las abscisas el contenido de humedad y en las ordenadas el peso unitario seco.

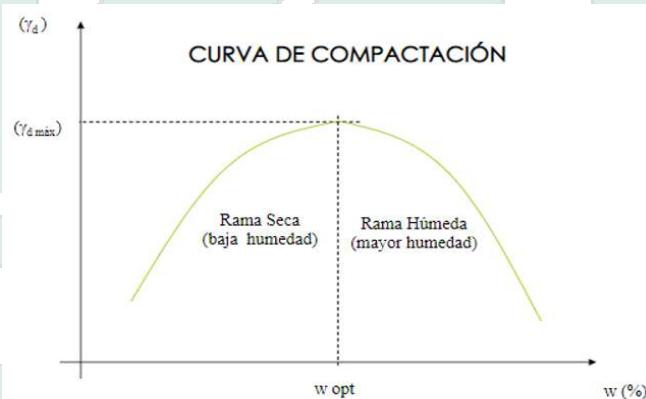


Figura 1. Curva obtenida del ensayo Proctor de los suelos

A partir de ella, se podrá obtener la humedad óptima que es la que corresponde a la densidad máxima del suelo para ese nivel de energía aplicado. Con estos resultados se podrá determinar la cantidad de agua de amasado a usar cuando se compacta el suelo en terreno para obtener la máxima densidad seca en función de una determinada energía de compactación.

Para cumplir este propósito, el ensayo de laboratorio debe considerar un tipo de compactación similar a la desarrollada en terreno con los equipos de compactación a especificar.

II. OBJETIVOS

- Familiarizar al estudiante con la teoría de la compactación de los suelos

- Determinar la relación óptima de humedad versus peso unitario seco de un suelo compactado en un molde normalizado para un nivel de energía específico
- Aprender las diferencias entre los ensayos Proctor estándar y Proctor modificado.
- Que el estudiante se encuentre en capacidad de reconocer como influye sobre la estructura final de un suelo los esfuerzos aplicados sobre su masa.
- Graficar la curva de cero aire en los vacíos como mecanismo de control al ensayo realizado

III. EQUIPOS Y MATERIALES

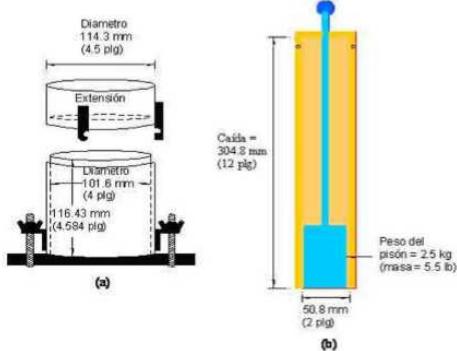


Figura 2. Equipo utilizado en el ensayo de compactación de los suelos

- Un molde de compactación. Constituido por un cilindro metálico de 4" de diámetro interior por 4 ½ de altura y una extensión de 2 ½ de altura y de 4" de diámetro interior.
- Un pisón metálico (martillo Proctor) de 5.5 lbs. de masa (2.5 Kg) de 5 cm (2") de diámetro.
- Una guía metálica de forma tubular de 35 cm de largo aproximadamente
- Una regla metálica con arista cortante de 25 cm de largo.
- Una balanza de 20 Kg de capacidad y 1.0 gr. de sensibilidad.
- Una balanza de 500 gr., de capacidad y de 0.01 gr., de sensibilidad.
- Un horno que mantenga una temperatura constante entre 100 – 110º C.
- Charolas metálicas. – Probetas graduadas de 500 cm3.
- Extractor de muestras.
- Tara para determinar humedad

IV. PROCEDIMIENTO

DESARROLLO

A) ENSAYO PROCTOR ESTANDAR ASTM D 698

El ensayo Proctor estándar se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Hay que agregarle agua cuando sea necesario, y compactar este suelo bien mezclado en un molde en tres 3 capas con 25 golpes por capa de un martillo de compactación con una altura de caída definida. Esto proporciona una energía nominal de compactación de 593.7 KJ/m³.

El ensayo Proctor estándar está limitado a los suelos que pasen totalmente el tamiz N° 4 o que como máximo tenga un retenido del 10% en ese tamiz, pero que pase dicho retenido totalmente por el tamiz de 3/8"

Se obtienen por cuarteo 3 o 4 muestras representativas del suelo a ensayar. Se estiman las humedades deseadas para los respectivos puntos de la gráfica. El porcentaje inicial de incremento

de agua debería tener en cuenta el contenido de humedad 4 a 5% por debajo de la wopt, y estimar la wopt según la experiencia del laboratorista

- 1) Determinar la masa del molde cilíndrico vacío junto con la base
- 2) A la muestra de suelo tomada se le esparce la cantidad de agua necesaria para llevarla de la humedad que presente, hasta la humedad deseada. Homogenizar completamente la mezcla de suelo-agua.
- 3) La muestra preparada se coloca en el molde cilíndrico en tres (3) capas, llenándose en cada capa aproximadamente 1/3 de su altura y se compacta cada capa de la forma siguiente:
 - Se coloca el pistón de compactar con su guía, dentro del molde; se eleva el pistón hasta que alcance la parte superior y se suelta permitiendo que tenga una caída libre de 30 cms, se cambia de posición la guía, se levanta y se deja caer nuevamente el pistón. Se repite el procedimiento cambiando de lugar la guía de manera que con 25 golpes se cubra la superficie. Esta operación de compactación se repite en las tres capas del material.
- 4) Al terminar la compactación de las tres capas, se quita la extensión y con la regla metálica se enraza la muestra al nivel superior del cilindro
- 5) Se limpia exteriormente el cilindro y se determina su masa con la muestra compactada. (Masa del material + cilindro).
- 6) Con ayuda del extractor de muestra se saca el material del molde y de la parte central del espécimen se toman aproximadamente 100 gr, y se pesa en la balanza de 0.1 gr., se sensibiliza anotando su peso. (Peso húmedo).
- 7) Deposite el material en el horno a una temperatura de 100 a 110° C por un período de 24 horas, transcurrido este período determínese el peso seco del material.
- 8) Repita los pasos del 2 al 7 hasta obtener un número de resultados que permitan trazar una curva de peso unitario seco versus contenido de humedad.

B) ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

Para este ensayo se utiliza una mayor energía de compactación. Las características básicas del ensayo son las mismas del ensayo estándar de compactación. El ensayo de compactación Proctor modificado aplica una energía nominal de compactación al suelo de 2710 KJ/m³ lo que representa cerca de 5 veces la energía de compactación del ensayo estándar produciendo un incremento entre un 5 y un 10% de la densidad y una disminución en la humedad óptima.

Se obtienen por cuarteo 3 o 4 muestras representativas del suelo a ensayar. Se estima las humedades deseadas para los respectivos puntos de la gráfica. El porcentaje inicial de incremento de agua debería tener en cuenta el contenido de humedad 4 a 5% por debajo de la wopt, y estimar la wopt según la experiencia del laboratorista

- 1) Determinar la masa del molde cilíndrico metálico vacío junto con la base
- 2) A la muestra de suelo tomada se le esparce la cantidad de agua necesaria para llevarla de la humedad que presente, hasta la humedad deseada. Homogenizar completamente la mezcla de suelo-agua.
- 3) La muestra preparada se coloca en el molde cilíndrico en cinco (5) capas, llenándose en cada capa aproximadamente 1/5 de su altura y se compacta cada capa de la forma siguiente

- Se coloca el pistón de compactar con su guía, dentro del molde; se eleva el pistón hasta que alcance la parte superior y se suelta permitiendo que tenga una caída libre de 45.7 cms., se cambia de posición la guía, se levanta y se deja caer nuevamente el pistón. Se repite el procedimiento cambiando de lugar la guía de manera que con 25 o 56 (según el método) golpes se cubra la superficie. Esta operación de compactación se repite en las cinco capas del material.
- 4) Al terminar la compactación de las cinco capas, se quita la extensión y con la regla metálica se enraza la muestra al nivel superior del cilindro.
 - 5) Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compactada anotando su peso.(Peso del material + cilindro)
 - 6) Con ayuda del extractor de muestra se saca el material del molde y de la parte central del espécimen se toman aproximadamente 100 gr., y se pesa en la balanza de 0.1 gr., se sensibiliza anotando su peso. (Peso húmedo).
 - 7) Deposite el material en el horno a una temperatura de 100 a 110° C por un período de 24 horas, transcurrido este período determíñese el peso seco del material.
 - 8) Repita los pasos del 2 al 7 hasta obtener un número de resultados que permitan trazar una curva de peso unitario seco versus contenido de humedad.

V. CÁLCULOS, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 1) Volver al laboratorio al día siguiente y determinar la masa de las muestras de contenido de humedad secadas al horno para encontrar el promedio real del contenido de humedad de cada ensayo.
- 2) Calcular el peso unitario húmedo y seco para cada una de las muestras ensayadas
- 3) Realizar la gráfica de peso unitario seco contra contenido de humedad, con peso unitario seco como ordenada y humedad como abscisa. En esta grafica anexar la curva correspondiente a los pesos unitarios secos con cero aire en los vacíos.

Si G_s no se conoce suponer que el peso unitario con cero aire en los vacíos en el contenido de humedad óptimo es 5% mayor que el máximo peso unitario seco. De esta suposición se puede calcular el valor de G_s para el suelo y encontrar el peso unitario seco a otros valores de contenido de humedad para dibujar la curva de cero aire en los vacíos.

Los pesos unitarios húmedos y secos se pueden obtener con las siguientes fórmulas:

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad \gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$$

Dónde:

γ = Peso unitario húmedo.

γ_d = Peso unitario seco.

W = Peso de la muestra húmeda compactada en el molde cilíndrico.

V = Volumen del cilindro

w =Contenido de humedad al tanto por uno.

- 4) También se debe calcular el peso unitario de la curva de Saturación (γ_{dzav}), donde:

$$\gamma_{dzav} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + w G_s}$$

$\gamma_d z_{av}$ = Peso unitario seco del suelo con cero aire en los vacíos.

G_s = Gravedad específica de los sólidos.

γ_w = Peso unitario del agua

5) Calcular la energía de compactación suministrada al suelo durante el ensayo Proctor

$$CE = \frac{\# \text{ de capas} * \# \text{ de golpes}}{\text{Volumen del molde}} * W_{\text{martillo}} * H_{\text{caida del martillo}}$$

VI. GUIA SUGERIDA

- 1) ¿Qué es la compactación de los suelos? ¿Cuál es la diferencia con la consolidación? Ilustre su respuesta con un diagrama de las fases de los suelos en cada caso.
- 2) ¿Por qué es importante que el nivel final del suelo compactado este justo sobre el cuerpo del molde?
- 3) ¿Cómo selecciona usted el contenido de agua para las muestras del ensayo de compactación?
- 4) ¿Cuáles son las principales diferencias entre el ensayo de compactación estándar y el modificado?
- 5) ¿Cuál es la influencia del esfuerzo de compactación sobre la curva de compactación?

VII. REFERENCIAS

- Bardet, Jean Pierre. Experimental Soil Mechanics
- Bowles, Joseph. Manual de laboratorios de mecánica de suelos
- Das, Braja M. Fundamentos de Ingeniería geotécnica
- Mecánica de Suelos. Lambe
- Normas ASTM. (D698-91)
- Normas AASHTO (T 99-90)



UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
GEOTECNIA I

COMPACTACION DE SUELOS "ENSAYO PROCTOR"

NORMAS	ASTM	AASHTC
	D 698-91	T 99-90

PROYECTO:
LOCALIZACIÓN:
DIRECCION:
FECHA:

APIQUE N°:	
MUESTRA N°:	
PROF.:	

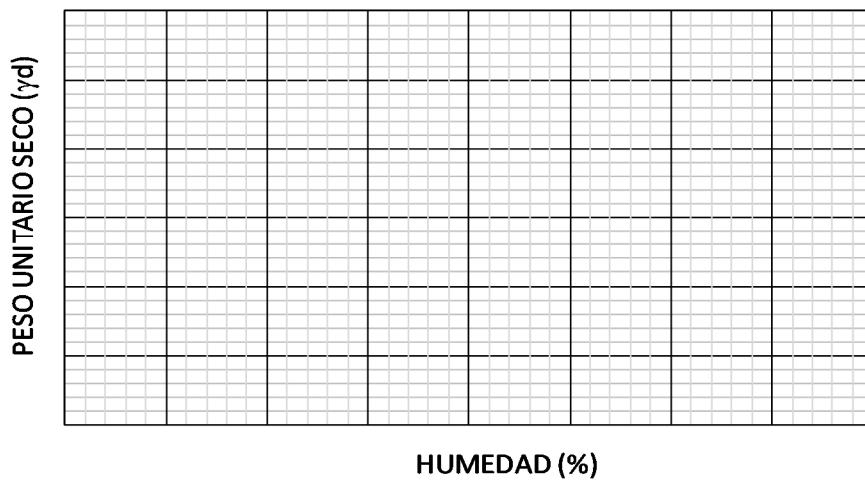
DATOS DETERMINACION DEL PESO UNITARIO

	1	2	3	4
Número del molde				
Humedad deseada				
Masa del molde cilíndrico, gr				
Volumen del molde cilíndrico , cm ³				
Masa del molde cilíndrico + suelo, gr				
Masa del suelo húmedo en el molde cilíndrico, gr				
Peso unitario húmedo, kN/m ³				
Humedad real de la muestra, %				
Peso unitario seco, kN/m ³	18	19	20	18

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

	1	2	3	4
Número del recipiente				
Masa del recipiente (gr)				
Masa del recipiente + suelo húmedo (gr)				
Masa del recipiente + suelo seco (gr)				
Masa del agua (gr)				
Masa del suelo seco (gr)				
Contenido de Humedad (%)				
Contenido de Humedad Promedio (%)	8	10	12	14

GRAFICA ENSAYO PROCTOR





NORMAS: ASTM D1556-90; AASHTO T 191-61

I. GENERALIDADES

Cuando el trabajo de compactación va progresando en el campo, es conveniente saber si el peso unitario seco especificado se está logrando o no. Esto se conoce como control de compactación de campo. Esta verificación se logra con varios procedimientos estándares, aunque el método más comúnmente usado es el “EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA”.

Básicamente el método consiste en determinar el peso del suelo húmedo de una pequeña excavación de forma irregular (hueco) hecho sobre la superficie del suelo compactado, determinar el volumen de dicho hueco, y de esta manera el peso unitario húmedo del suelo en el sitio se puede calcular simplemente como:

$$\gamma_{\text{húmedo}} = \frac{\text{peso del suelo húmedo}}{\text{Volumen del agujero}}$$

El método del cono de arena representa una forma indirecta de obtener el volumen del agujero.

La arena utilizada (a menudo arena de Ottawa) es generalmente material que pasa el tamiz N° 20 y se encuentra retenida por el tamiz No. 30. Aunque el material menor que el tamiz N° 30 y mayor que el tamiz N° 40 o el material menor que el tamiz N° 30 y mayor que el tamiz N° 50 puede utilizarse también.

Generalmente es deseable tener una arena uniforme o “de un solo tamaño” para evitar problemas de segregación (un volumen de arena fina puede pesar más que un volumen de arena gruesa, pero un volumen de la mezcla puede pesar aún más) de forma que en las mismas condiciones de vaciado puedan lograrse la misma estructura del suelo y duplicación requerida.

II. OBJETIVOS

DESARROLLO

- Familiarizar al estudiante con el método comúnmente utilizado en el campo para determinar el peso unitario seco del suelo compactado.
- Determinar el peso unitario seco en la capa superficial de un suelo compactado por medios mecánicos.
- Determinar el peso unitario seco del suelo en el sitio y la humedad del material a consultar.
- Determinar el grado de compactación del material en el campo (Compactación relativa)
- Analizar las limitaciones y fuentes de error de los datos obtenidos a través del ensayo.

III. EQUIPOS Y MATERIALES



Figura 1. Equipo utilizado en el ensayo de Densidad en campo

- Densímetro o Cono de arena.
- Placa base metálica con un círculo hueco.
- Recipiente de plástico ó metal de 4000 cm³ de capacidad aproximadamente.
- Frasco con arena de Ottawa
- Cincel de acero liso de 5/8" de diámetro y una altura de 25 cm de longitud aproximadamente.
- Cuchara y brocha.
- Mazo de dos libras y media de peso.
- Bolsas plásticas para recoger el material del campo
- Recipientes para el contenido de humedad.
- Balanza con precisión de 0.1 gramo y capacidad de 2.0 kg.
- Balanza con precisión de 1.0 gramo y capacidad de 25 kg.
- Horno con temperatura constante de 110±5 °C.

IV. PROCEDIMIENTO

- 1) Calibrar la arena a utilizar, tamizándola por los tamices N° 20 y N° 30 desecharlo lo que retenga el tamiz N° 20 y lo que pase el tamiz N° 30 y determinar también el peso unitario seco suelto de la arena calibrada (γ_d arena)
- 2) Determinar la masa de arena necesaria para llenar el cono. Esta calibración se realizará de la siguiente manera:

Determine la masa del conjunto Cono + Frasco + Arena, esta masa se denominará M_1 . Seguidamente arme el equipo montando el frasco de arena con su cono sobre la base metálica en una superficie totalmente horizontal y limpia. Abra la válvula de salida y espere a que cese la caída de arena hacia el cono. Una vez cese la caída de material, determine nuevamente la masa del conjunto Cono + Frasco + Arena restante. Esta masa denomínelo M_2 .

Obtenga el valor de la masa de arena que llena el cono restando $M_1 - M_2$.

- 3) Determinar la masa del conjunto Cono + Frasco + Arena de cada uno de los equipos que se llevarán al campo. Esta masa se denominará M_3 .
- 4) Se deberá seleccionar el sitio donde se determinará el ensayo (para este efecto el profesor de la asignatura debe haber explicado al estudiante la variación de los lugares donde se evalúan las densidades dependiendo del tipo de obra).
- 5) Coloque la bandeja en el suelo. Este sitio deberá ser allanado para que quede totalmente horizontal y su parte superior coincida con el plano inferior de la base. Ancle la bandeja al suelo

penetrando los ganchos en el suelo a través de los orificios situados para este uso en las esquinas de la base metálica.

- 6) Inicie la perforación de un hueco en el suelo cuyo perímetro será la circunferencia dentro de la base metálica y hasta una profundidad de 10 a 15 cm. Deberá tener especial cuidado en esta parte del ensayo pues la perforación debe ser lenta, no se debe descuidar y producir salpicaduras de material que coloquen granos o terrones por fuera de la base. Todo el material excavado deberá ser recogido minuciosamente sin haber sido mezclado con materiales ajenos al proceso. Luego se pesará. Esta masa se denominará M₄.
- 7) Coloque el conjunto Cono + Frasco + Arena de forma que la parte abierta del cono quede hacia abajo. El encaje entre este elemento y la base es perfecto. Abra la válvula que permite la caída de la arena hasta que cese el movimiento de la misma dentro del frasco. Una vez termine la caída de la arena, retire el conjunto Cono + Frasco + Arena y péselo nuevamente en el laboratorio. Esta masa se denominará M₅.
- 8) Retire el equipo y recoja tanta arena (Ottawa) como sea posible (sin agregarle materiales extraños) y deposítela en un recipiente aparte, ya que esta arena se lavará y se volverá a cribar para usarse en otro ensayo.
- 9) Del material extraído del hueco tome diversas muestras para la determinación de la humedad promedio.

V. CÁLCULOS, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 1) Con los datos obtenidos en el laboratorio y el campo, determinar:

Masa de arena que llena el agujero

$$Masa\ arena\ agujero\ (M_6) = M_3 - M_5 - M_2$$

Volumen del agujero

$$Volumen\ agujero = \frac{M_6 * g}{\gamma_d\ arena}$$

Peso unitario húmedo suelo en campo

$$\gamma = \frac{M_4}{Volumen\ agujero}$$

Peso unitario seco suelo en campo

$$\gamma_d\ campo = \frac{\gamma}{1+w}$$

- 2) Con base en el peso unitario seco máximo obtenido en el laboratorio, a partir del ensayo Proctor modificado, determinar el grado de compactación o compactación relativa del material compactado en campo a través de la siguiente expresión

$$C_{Relativa} = \frac{\gamma_d\ campo}{\gamma_{d\ max\ laboratorio}} * 100$$

- 3) Analice y comente sobre los resultados obtenidos

VI. GUIA SUGERIDA

- 1) . Mencione los objetivos y el principio del método del cono de arena
- 2) ¿Por qué es importante no perder nada del suelo tomado del hueco excavado durante el método del cono de arena?
- 3) Describa las características de debe tener el tipo de arena usada para la prueba del cono de arena. ¿Por qué no se usa cualquier arena?
- 4) ¿Puede dar el nombre y explicar otros dos (2) métodos para determinar el peso unitario seco de los suelos en el campo?

5) Podría un suelo en campo mostrar una compactación relativa mayor al 100%. Explique

VII. REFERENCIAS

- Bardet, Jean Pierre. Experimental Soil Mechanics
- Bowles, Joseph. Manual de laboratorios de mecánica de suelos
- Das, Braja M. Fundamentos de Ingeniería geotécnica
- Mecánica de Suelos. Lambe
- Norma ASTM. (D1556-90)
- Norma AASHTO (T 191-61)





UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
GEOTECNIA I

CONTROL DE COMPACTACION EN
CAMPO "ENSAYO DEL CONO DE ARENA"

NORMAS

ASTM

D 698-91

AASHTO

T 99-90

PROYECTO:

LOCALIZACIÓN:

DIRECCION:

FECHA:

Peso unitario seco máximo de laboratorio, kN/m³

Peso unitario seco de la arena, kN/m³

Masa de arena que llena el cono, gr

DATOS DETERMINACION DEL PESO UNITARIO SECO EN CAMPO

	1	2	3	4
Equipo Número				
Masa del material extraido del agujero, gr				
Masa del equipo antes del ensayo, gr				
Masa del equipo después del ensayo, gr				
Masa de la arena que llena el agujero				
Volumen del agujero, m ³				
Peso unitario húmedo, kN/m ³				
Humedad del suelo en el agujero, %				
Peso unitario seco, kN/m ³				

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

	1	2	3	4
Número del recipiente				
Masa del recipiente (gr)				
Masa del recipiente + suelo húmedo (gr)				
Masa del recipiente + suelo seco (gr)				
Masa del agua (gr)				
Masa del suelo seco (gr)				
Contenido de Humedad (%)				
Contenido de Humedad Promedio (%)				

DETERMINACION DE LA COMPACTACION RELATIVA

Compactación relativa del material en el campo, %



**PRÁCTICA N° 9: : ENSAYO DE PERMEABILIDAD
CABEZA CONSTANTE Y CABEZA VARIABLE**

FECHA DE REVISÓN:
2-08-2019
ELABORÓ:
ING. CARLOS MEDINA

NORMAS: ASTM D3434-68; AASHTO T 125-66

I. GENERALIDADES

Los suelos son permeables al paso de los fluidos debido a que los espacios vacíos que están entre las partículas de suelos, están interconectados.

El grado de permeabilidad está caracterizado por el coeficiente de permeabilidad k , también conocido como coeficiente de conductividad hidráulica. El coeficiente de permeabilidad es una constante de proporcionalidad relacionada con la facilidad del movimiento de un fluido a través de un medio poroso.

En la mayoría de los suelos, el flujo de agua a través de los espacios vacíos se considera laminar, en el que tiene validez la ley de Darcy para la velocidad de descarga a través de suelos saturados:

$$v = Ki$$

Y la velocidad correspondiente del flujo es

$$q = KiA$$

Donde:

q = cantidad de flujo por unidad de tiempo

k =coeficiente de permeabilidad (unidades de velocidad)

i = Gradiente hidráulico = h/L

A = área de la sección transversal de la masa de suelos en consideración

Existen dos métodos directos a través de los cuales se puede determinar el coeficiente de permeabilidad en el laboratorio, ellos son:

- Permeámetro de carga constante: para suelos de alta permeabilidad, como arenas y gravas.
- Permeámetro de carga variable: para suelos de mediana permeabilidad a baja permeabilidad, como limos y arcillas.

II. OBJETIVOS

- Introducir al estudiante a un método de determinación del coeficiente de permeabilidad de los suelos
- Conocer las propiedades hidráulicas de los suelos
- Obtener el coeficiente de permeabilidad k para el suelo en cuestión.
- Clasificar el suelo ensayado con base en el valor del coeficiente de permeabilidad obtenido

III. EQUIPOS Y MATERIALES



Figura 1. Equipos utilizados en el ensayo de permeabilidad

- Permeámetro
- Probeta de 500 ml
- Beacker de 500 ml
- Cronómetro

IV. PROCEDIMIENTO

ENSAYO DE PERMEABILIDAD CABEZA CONSTANTE

- 1) Antes de comenzar el ensayo, los estudiantes verificarán que las muestras de suelos a ensayar se encuentren preparadas adecuadamente y saturadas.
- 2) Determinar las dimensiones de la muestra a ensayar (diámetro y altura)
- 3) Para iniciar el ensayo, debe establecerse la cabeza hidráulica en el recipiente fuente de agua, para permitir luego el flujo de agua hasta la muestra. Es decir tratar de mantener constante la altura del nivel del agua respecto al fondo del recipiente en la medida que se drena la muestra. Se hace necesario que se garantice a cabalidad el cumplimiento de este aparte.
- 4) Mida la altura h existente entre el nivel superior del agua del tanque superior y la boquilla inferior de entrada del agua al cilindro de la muestra de suelo.
- 5) La altura del agua en el recipiente debe mantenerse constante a lo largo de un ensayo, para este efecto un estudiante vigilará y maniobrará el flujo de agua desde una red externa.
- 6) La determinación de la permeabilidad de los suelos por el método de cabeza constante, se puede realizar de dos (2) formas:

En la primera de ellas, se determinará el tiempo (t) necesario para que fluya a través de la muestra de suelo un volumen de agua (Q). Para ello, el docente asignará a cada grupo los correspondientes volúmenes a medir. Cada grupo realizará esto usando una probeta (en lo posible de 500 ml para tener más precisión en las lecturas) y midiendo los respectivos tiempos de llenado con un cronómetro. Cada grupo deberá tomar mínimo cuatro (4) lecturas de tiempo para el respectivo volumen de agua asignado.

En la segunda de ellas, se determinará el volumen de agua (Q) que pasa a través de la muestra de suelo en un tiempo (t) determinado. Para ello, el docente asignará a cada grupo los correspondientes tiempos de filtración. Para lo cual con ayuda del cronómetro y de la probeta, cada grupo deberá tomar mínimo cuatro (4) lecturas del volumen de agua recogido en el tiempo asignado.

- 7) Desmonte el equipo cuidadosamente y limpie la zona de realización del ensayo.

ENSAYO DE PERMEABILIDAD CABEZA VARIABLE

- 1) Antes de comenzar el ensayo, los estudiantes verificarán que las muestras de suelos a ensayar se encuentren preparadas adecuadamente y saturadas.
- 2) Determinar las dimensiones de la muestra a ensayar (diámetro y altura)
- 3) A diferencia del ensayo de permeabilidad a cabeza constante, en este ensayo el nivel del agua será variable a medida que se cumple el procedimiento.
- 4) Deberá permitirse el flujo de agua hacia los tubos de vidrio, para este efecto deberá abrir las válvulas inferiores del permeámetro.
- 5) La determinación de la permeabilidad de los suelos por el método de cabeza variable se hará determinando el tiempo necesario para que el nivel de agua pase de una altura h_1 a una altura h_2 . Para ello, el docente asignará a cada grupo los correspondientes valores de h_1 y h_2 . Para lo cual con ayuda del cronómetro cada grupo deberá tomar mínimo cuatro (4) lecturas del tiempo requerido

V. CÁLCULOS, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 1) Determinar el valor del coeficiente de permeabilidad del suelo ensayado a través del permeámetro de cabeza constante, a través de la siguiente expresión

$$K = \frac{QL}{Ath}$$

Donde:

k = coeficiente de permeabilidad (unidades de velocidad)

Q = Volumen de agua filtrado

L = Longitud (altura de la muestra)

t = tiempo de filtración del fluido a través de la muestra

h = cabeza hidráulica

A = área de la sección transversal de la muestra

- 2) Realizar un análisis estadístico de los resultados obtenidos por cada grupo de laboratorio.
- 3) Determinar el valor del coeficiente de permeabilidad del suelo ensayado a través del permeámetro de cabeza variable, a través de la siguiente expresión

$$K = \frac{aL}{At} \log \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

Donde:

k = coeficiente de permeabilidad (unidades de velocidad)

a = Área de la sección transversal de la bureta

L = Longitud (altura de la muestra)

A = Área de la sección transversal de la muestra

t = tiempo de filtración del fluido a través de la muestra

h_1 = Altura de la cabeza hidráulica al inicio del ensayo

h_2 = Altura de la cabeza hidráulica al final del ensayo

- 4) Realizar un análisis estadístico de los resultados obtenidos por cada grupo de laboratorio.

VI. GUIA SUGERIDA

- 1) ¿Puede dar alguna relación empírica para medir la permeabilidad de los suelos? ¿Es aplicable a todos los suelos?
- 2) ¿Es el coeficiente de permeabilidad de las arenas influido por la relación de vacíos? Explique
- 3) ¿Qué otras pruebas pueden aplicarse a los suelos con permeabilidades bajas?
- 4) ¿Porque usted debería usarse agua desairada en vez de agua del grifo para el ensayo de permeabilidad?
- 5) ¿El coeficiente de permeabilidad aumenta o disminuye con la temperatura? Explique

VII. REFERENCIAS

- Bardet, Jean Pierre. Experimental Soil Mechanics
- Bowles, Joseph. Manual de laboratorios de mecánica de suelos
- Das, Braja M. Fundamentos de Ingeniería geotécnica
- Norma ASTM. (D 3434-68)
- Norma AASHTO (T 125-66)



UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
GEOTECNIA I

ENSAYO DE PERMEABILIDAD
"CABEZA CONSTANTE Y VARIABLE"

NORMAS	ASTM	AASHTO
D 3424-68	T 215-70	

PROYECTO:

LOCALIZACIÓN:

DIRECCION:

FECHA:

DATOS DETERMINACION COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD CABEZA CONSTANTE

Diámetro de la muestra, ϕ , cm	
Altura de la muestra, h, cm	
Altura cabeza hidráulica, cm	

Número de ensayo	1	2	3	4
Tiempo (seg)				
Volumen de agua (cm^3)				

DATOS DETERMINACION COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD CABEZA VARIABLE

Diámetro de la muestra, ϕ , cm	
Altura de la muestra, h, cm	
Diámetro de la Bureta, ϕ , cm	

Número de ensayo	1	2	3	4
Tiempo (seg)				
Altura cabeza hidráulica inicial, cm				
Altura cabeza hidráulica final, cm				



UNIVERSIDAD DE SUCRE FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	VERSION: 02	
PRÁCTICA N° 10: ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS	FECHA DE REVISÓN: 23-08-2019	

NORMAS: ASTM D2435-90; AASHTO T216-66

I. GENERALIDADES

Cuando un depósito de suelo se encuentra sometido a un incremento de los esfuerzos totales, por ejemplo, como resultado de la carga aplicada por la construcción de un edificio o un terraplén, se produce en el suelo un exceso de presión intersticial.

Puesto que el agua no puede resistir esfuerzos cortantes, el exceso de presión intersticial se disipa mediante el flujo de agua hacia el exterior. La velocidad a la cual se produce este proceso depende principalmente del coeficiente de permeabilidad de la masa de suelo.

La disipación del exceso de presión intersticial debida al flujo de agua hacia el exterior se denomina consolidación, proceso que conlleva a un reajuste de la estructura del suelo originando una deformación plástica correspondiente a una reducción en la relación de vacíos, generando con ello una reducción del volumen total de la masa de suelo, lo cual se manifiesta en el asentamiento de la superficie del terreno y por consiguiente en un asentamiento de las estructuras.

En un suelo granular tal, como una arena, la permeabilidad es relativamente alta y por ello el exceso de presión intersticial puede disiparse al instante. En consecuencia, el asentamiento de la estructura por lo general se termina al final de la construcción.

En contraste, los depósitos de arcilla a menudo tienen una permeabilidad muy baja y por ello la disipación del exceso de presión intersticial es un proceso muy lento. En consecuencia, una estructura puede continuar asentándose durante varios años después de terminada la construcción.

El proceso de consolidación se aplica a todos los suelos, pero en la práctica sólo tiene interés en el caso de estructuras cimentadas en depósitos de arcilla.

II. OBJETIVOS

- Introducir al estudiante a un método de determinación de la consolidación unidimensional de los suelos
- Conocer y comprender los principios de la consolidación unidimensional de los suelos
- Obtener el índice de compresión(C_c), el índice de expansión (C_s) y el esfuerzo de preconsolidación (σ_p') de la muestra ensayada

III. EQUIPOS Y MATERIALES

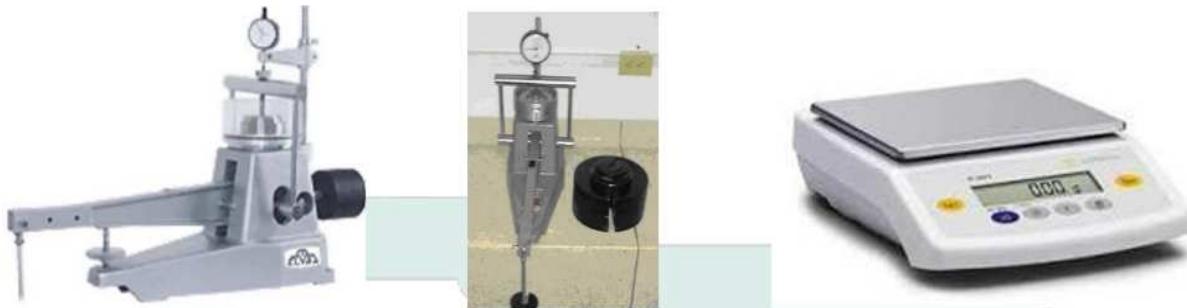


Figura 1. Equipos utilizados en el ensayo de Consolidación Unidimensional

- Consolidómetro
- Deformímetro de carátula con lectura de 0.01mm de precisión (ó 0.0001")
- Equipo de cargas
- Cronómetro
- Equipo necesario o disponible para moldeo o corte de la muestra
- Horno
- Balanza de sensibilidad 0.1 g
- Recipientes para el contenido de humedad.

IV. PROCEDIMIENTO

- 1) Determinar la masa, diámetro interno y altura del anillo de consolidación
- 2) Moldee cuidadosamente una muestra de suelo dentro del anillo de consolidación. Determinar la masa de anillo + la muestra de suelo húmeda
- 3) Colocar cuidadosamente la muestra de suelo en el consolidómetro con una piedra porosa saturada colocada sobre cada cara. Asegurarse de que las piedras porosas entren en el anillo de forma que el ensayo pueda avanzar satisfactoriamente.
- 4) Colocar el Consolidómetro en el aparato de carga y ajustar el deformímetro de carátula; recordar que debe permitirse una posible compresión de la muestra de 4 a 12 mm.
- 5) Si la muestra de suelo, no se encuentra saturada, permitir su saturación completa dejando la muestra sumergida durante un día
- 6) Aplicar el primer incremento de carga (2 kg) y simultáneamente tomar lecturas de deformación a tiempos transcurridos de 0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 1 hora, 2, 4, 8, 16, horas, etc.
- 7) Despues de 24 horas o cuando la diferencia de dos lecturas consecutivas en el deformímetro de carátula sea suficientemente pequeña, cambiar la carga al siguiente valor (la carga será siempre el doble de la anterior) y nuevamente tomar lecturas a los intervalos de tiempo especificados en el paso anterior.
- 8) Continuar cambiando cargas tomando lecturas de deformación contra tiempo transcurrido a través de todo el rango de cargas del consolidómetro (o hasta que arbitrariamente se determine).
- 9) Cuando el ensayo culmine, colocar la muestra (incluyendo todas las partículas que se hayan expandido fuera del anillo) en el horno para determinar la masa de anillo + la muestra de suelo seca.

V. CÁLCULOS, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 1) Para proceder a realizar los cálculos respectivos, es necesario tener el dato correspondiente a la gravedad específica de los suelos (G_s) del suelo ensayado
- 2) Determinar la Humedad de la muestra al inicio del ensayo, la masa de los sólidos, el volumen de vacíos y el volumen de los sólidos de la muestra al inicio del ensayado.
- 3) Determinar el valor de la relación de vacíos de la muestra ensayada
- 4) Calcular la variación de la relación de vacíos para cada uno de los escalones de carga. Determinar el valor de la relación de vacíos al finalizar cada escalón de carga
- 5) Graficar la curva de relación de vacíos (vs) logaritmo de los esfuerzos aplicados al suelo para cada uno de los escalones de carga
- 6) Obtener para la muestra ensayada los valores correspondientes al índice de compresión(C_c), el índice de expansión (C_s) y el esfuerzo de preconsolidación (σ_p').

VI. GUIA SUGERIDA

- 1) ¿Cuáles propiedades del suelo que pueden ser determinadas a partir del ensayo de consolidación?
- 2) ¿Qué es la presión de pre consolidación y la relación de sobre consolidación de un suelo?
- 3) Defina ¿qué es la Línea virgen de consolidación?
- 4) ¿Qué son arcillas normalmente consolidadas y sobreconsolidadas?
- 5) ¿Cuál es la relación entre el coeficiente de consolidación y la permeabilidad de los suelos?
- 6) ¿Porque se mide la altura de la muestra después del ensayo de Consolidación?

VII. REFERENCIAS

- Bardet, Jean Pierre. Experimental Soil Mechanics
- Bowles, Joseph. Manual de laboratorios de mecánica de suelos
- Das, Braja M. Fundamentos de Ingeniería geotécnica
- Norma ASTM. (D 2435-90)
- Norma AASHTO (T 216-66)



UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
GEOTECNIA I

CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

NORMAS	ASTM	AASHTO
	D2435-90	T 216

PROYECTO:
LOCALIZACIÓN:
DIRECCIÓN:
FECHA:

APIQUE N°:	
MUESTRA N°:	
PROF.:	

DATOS DE LA MUESTRA DE SUELO

Diámetro del anillo metálico, cm	R ESIDUAL DE SUCRE	
Altura del anillo metálico, cm		
Masa del anillo metálico, gr		
Masa del anillo metálico + muestra de suelo al inicio del ensayo, gr		
Masa del anillo metálico + muestra de suelo seco al final del ensayo, gr		
Gravedad específica del suelo, Gs		

UNIVERSIDAD DE SUCRE FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	VERSION: 02	
PRÁCTICA N° 11: DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE LOS SUELOS (ENSAYO DE CORTE DIRECTO)	FECHA DE REVISÓN: 11-06-2020	

NORMAS: ASTM D3080-72; AASHTO T 236

I. GENERALIDADES:

El ensayo de corte directo consiste en someter una muestra de suelo a una fuerza vertical P_v (conocida, pues su valor se obtiene mediante suministro de pesas) y a una fuerza horizontal P_h (desconocida, la evaluación de esta fuerza es el objeto del ensayo).

La fuerza vertical es controlada mediante un número exacto de pesas hasta conseguir el valor deseado. La fuerza horizontal P_h proviene de utilizar la ley de Hooke para resortes. Esta fuerza horizontal es evaluada para las deformaciones horizontales que sufre el anillo de carga ($F_s = KX$, donde X es la deformación del resorte y la cual en este ensayo es medida con un deformímetro y K es la constante del resorte)

Para el caso de anillos de carga la multiplicación de la lectura en él obtenida por el factor del anillo es la fuerza horizontal actuante para obtener una deformación respectiva.

El ensayo de Corte Directo fue originalmente muy popular. Sin embargo, a medida que ha avanzado el estado del arte, se ha vuelto cada vez menos popular por las siguientes razones:

- El área de la muestra cambia a medida que el ensayo progresá, sin que esto sea demasiado significativo ya que la mayoría de las muestras “fallan” a deformaciones muy bajas.
- La superficie de falla real en la muestra no es un plano, como se supuso o se intentó obtener con el tipo de caja de corte que se diseñó, ni tampoco se tiene una distribución uniforme del esfuerzo cortante a lo largo de la superficie de “falla” como también se supuso.
- El ensayo usa una muestra muy pequeña, con el consiguiente resultado de que los errores de preparación son relativamente importantes.
- El tamaño de la muestra excluye la posibilidad de hacer mucha investigación de las condiciones de presión de poros durante el ensayo.
- No es posible determinar el módulo de elasticidad ni el de la relación de Poisson.

II. OBJETIVOS

- Familiarizar al estudiante con un procedimiento para la determinación rápida de los parámetros de resistencia al corte (c y ϕ) de los suelos cohesivos y no cohesivos.
- Enseñar al estudiante como afecta la naturaleza friccionante o cohesiva de un suelo las características de la curva esfuerzo - deformación.

III. EQUIPOS Y MATERIALES



Figura 1. Equipo ensayo de corte Directo

- Aparato de corte directo (ver figura 1.)
- Deformímetros de carátula con lectura de 0.01mm de precisión (ó 0.0001")
- Equipo de cargas
- Cronómetro (dependiendo del tipo de ensayo)
- Equipo necesario o disponible para moldeo o corte de la muestra
- Balanza de sensibilidad 0.1 g

IV. PROCEDIMIENTO

La muestra para el ensayo deberá consistir en piezas de material inalterado, extraído del sitio de interés. Las muestras pueden moldearse en el laboratorio para darles la forma definitiva de la caja de corte siguiente sin alterar su estado inicial de humedad.

SUELO NO COHESIVO SUELTO

1. Pesar un plato grande de arena seca (o mojada con el contenido de humedad conocido con exactitud) con suficiente material para hacer por lo menos tres ensayos a la misma densidad.
2. Ensamblar cuidadosamente la caja de corte (retroceder cualquier separación existente entre las partes de la caja y los tornillos de empalme) y fijar la caja en posición. Obtener la sección transversal A de la muestra.
3. Colocar cuidadosamente la arena en la caja de corte hasta cerca de 5 mm del borde de la superficie del anillo y colocar el pistón de carga (incluyendo las piedras porosas) sobre la superficie del suelo. Tomar un nivel pequeño y verificar la nivelación del pistón o bloque de carga.

Pesar el recipiente de la arena para determinar el peso exacto del material utilizado en la muestra. Obtener a continuación una referencia del espesor de la muestra de suelo marcando varios puntos en el borde del pistón o bloque de carga alrededor del perímetro con respecto a la altura de la caja de corte.

4. Aplicar la carga normal P_v deseada y colocar el dial para determinar el desplazamiento vertical (con precisión de 0.01mm por división). Recordar incluir el peso del pistón de carga y la mitad superior de la caja de corte como parte del peso P_v .

Para ensayos consolidados, registrar en el dial el desplazamiento vertical y comenzar el ensayo, solo cuando el asentamiento ha parado. Para suelos no cohesivos esto puede hacerse a partir de la aplicación de P_v .

5. Separar las dos partes de la caja de corte desplazando los tornillos espaciadores que se encuentran en la parte superior de la caja de corte. El espacio desplazado debería ser ligeramente superior (al ojo) que el tamaño más grande de partículas presente en la muestra.
6. A continuación se debe fijar el bloque de carga apretando los tornillos de fijación provistos para tal propósito a los lados de la parte superior de la caja de corte. Inmediatamente después separar los tornillos espaciadores de manera que se libere la parte inferior de la caja de corte; en este momento la carga normal, la mitad de la carga de la caja de corte, y el bloque del pistón de carga se encuentran actuando sobre la muestra de suelo.
7. Ajustar el deformímetro de carátula (0.01mm/división) para medir el desplazamiento en cortante. Para ensayos saturados, saturar la muestra llenando la caja de corte y permitiendo transcurrir tiempo para que tenga lugar la saturación.
Asegurarse de que las piedras porosas que se encuentran en la caja de corte estén saturadas si el suelo al ensayarse contiene alguna humedad.
8. Comenzar la carga horizontal (cortante) y tomar lecturas del deformímetro de carga, del deformímetro de desplazamiento cortante, y del deformímetro vertical (cambio de volumen). Si el ensayo es de tipo deformación unitaria controlada, se deben tomar esas lecturas a desplazamientos horizontales de: 5, 10, y cada 10 o 20 unidades de desplazamiento horizontal.
Utilizar una tasa de deformación unitaria del orden de 0.5 a no más de 2 mm/min.

No utilizar tasas de deformación unitaria más rápidas, pues existe el peligro de que se presente el pico de carga cortante entre dos lecturas. La tasa de deformación debería ser tal que la muestra "falle" entre 3 y 5 min.

9. Retirar la arena de la caja de corte y repetir los pasos 1 a 8 sobre por lo menos dos muestras adicionales y a una densidad ojalá dentro de los 5 g y no más de 10 g respecto a la cantidad de suelo usada en el primer ensayo.

Asegurarse de que la arena ocupe el mismo volumen utilizando las marcas de referencia del paso Nº 3. En el paso 4 usar un valor diferente de Pv para cada ensayo (se sugiere doblar la carga exterior, por ejemplo, 4, 8, 16 kg más el peso del bloque o pistón de carga para esos tres ensayos ó 5, 10, 20, kg, etc.).

SUELO COHESIVO

1. Moldear cuidadosamente tres o cuatro muestras del mismo tamaño (y ojalá, a la misma densidad) tomadas de una muestra de bloque grande, o de una muestra de tubo, o de cualquier otro tipo de fuente. Utilizar un anillo cortante de manera que el tamaño pueda ser controlado bastante aproximadamente.

Cualquier muestra con un peso apreciablemente diferente de las otras debe descartarse y en su lugar moldear otra. [Qué constituye "apreciable" comparado con el tamaño de la es asunto de criterio personal].

Nota: Se pueden necesitar seis muestras si el suelo está inalterado y preconsolidado. Mantener las muestras en ambiente de humedad controlada mientras se hace el moldeo, la preparación de la máquina de corte y los demás detalles del ensayo.

2. Retroceder la separación y el agarre de los tornillos guía en la parte superior de la caja de corte y ensamblar las dos partes. Asegurarse de que las piedras porosas están saturadas a menos que se

vaya a ensayar un suelo seco. Medir las dimensiones de la caja de corte para calcular el área de la muestra.

3. Colocar cuidadosamente la muestra dentro de la caja de corte. La muestra debe ajustar perfectamente en la caja y llenarla hasta cerca de 5 mm de la parte superior de la caja de corte.
4. Colocar el bloque o pistón de carga en su sitio sobre el suelo, la carga normal P_v y ajustar el deformímetro de carátula vertical. Para un ensayo consolidado es necesario controlar el deformímetro vertical igual que para el ensayo de consolidación para determinar cuando la consolidación haya terminado.
5. Separar cuidadosamente las mitades de la caja de corte dejando una pequeña separación apenas mayor que el tamaño de la partícula más grande presente en el suelo, retroceder los tornillos de separación y empalmar la cabeza de carga en su sitio utilizando los tornillos fijos para tal propósito. Asegurarse de que la carga normal refleje la fuerza normal más el peso del bloque de carga y la mitad superior de la caja de corte.

Ser extremadamente cuidadoso al separar la caja de corte cuando se ensaya una arcilla blanda por qué parte del material puede ser extruido fuera de la caja por la zona de separación, utilizar en estos casos cargas verticales pequeñas y/o hacer si puede requerir el hacer la consolidación antes de la separación de las cajas.

6. Acoplar el deformímetro de deformación cortante, fijar en cero tanto el deformímetro horizontal como el vertical. Para ensayos saturados, es necesario llenar la caja de corte con agua y esperar un tiempo razonable para que se produzca la saturación de la muestra.
7. Comenzar la carga horizontal (cortante) y tomar lecturas del deformímetro de carga, desplazamientos de corte y desplazamientos verticales (de cambio de volumen). Si el ensayo se hace a deformación unitaria controlada tomar estas lecturas a desplazamientos horizontales de: 5, 10 y cada 10 ó 20 unidades del deformímetro de desplazamiento horizontal. Utilizar una tasa de deformación unitaria del orden de 0.5 a no más de 2 mm/min. No utilizar tasas de deformación unitaria demasiado altas, ya que es posible que la carga pico de corte esté entre dos lecturas. La tasa de deformación debería ser tal que la muestra “falle” en 5 a 10 min a menos que el ensayo sea CD.

La velocidad de deformación para el ensayo CD debería ser tal que el tiempo para que la falla ocurra (t_f) sea:

$$t_f \cong 50t_{50}$$

Donde t_{50} es el tiempo necesario para que ocurra el 50% de la consolidación bajo la carga normal P_v . Si t_{50} no es fácil de obtener, puede utilizarse:

$$t_f \cong 35t_{60} = 25t_{70} = 12t_{90}$$

Puede hacerse una gráfica de la lectura de deformación vertical contra el Log del tiempo similar a la del ensayo de consolidación del suelo. Cuando P_v es muy grande podría ser necesario aplicar una carga en incrementos en vez de aplicarla toda de una vez.

8. Remover el suelo y tomar una muestra para el contenido de humedad. Repetir los pasos 2 a 7 para dos o más muestras adicionales. Si el suelo está preconsolidado y se utilizan seis muestras para el ensayo, es preciso asegurarse de utilizar un rango de tres cargas normales a cada lado del esfuerzo de preconsolidación.

V. CÁLCULOS, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

1. Calcular la fuerza desviadora utilizando las lecturas del deformímetro de carga. Si se utiliza un anillo de carga la fuerza desviadora es

$$P = \text{Lectura del deformímetro} \times \text{constante del anillo de carga}$$

Donde la lectura del deformímetro de carga se registra en unidades de deflexión. Poner estos datos en la columna apropiada del formato

2. Calcular el esfuerzo desviador

$$\sigma = \frac{P_h}{A}$$

Y llenar adecuadamente la columna respectiva del formato

3. Dibujar la curva del esfuerzo cortante (τ) contra la deformación horizontal experimentada por la muestra de suelo para un esfuerzo normal (σ_n) permanente. Dibujar los datos de los tres (3) ensayos en la misma hoja, pero asegurarse de que las curvas se identifiquen por sus valores correspondientes de esfuerzo vertical.
4. Dibujar en el plano cartesiano de esfuerzo normal (σ) versus esfuerzo contante (τ) los valores obtenidos para la falla de las diferentes muestras ensayadas.
5. Trazar la envolvente de falla, la cual deberá ser una línea que pase por los puntos de falla de las muestras ensayadas. Medir la pendiente de dicha recta como correspondiente al ángulo de fricción interna ϕ del material y mostrarla en dicha gráfica. Medir el intercepto con el eje vertical para obtener la cohesión c del suelo y mostrar este valor en la gráfica

VI. GUIA SUGERIDA

- ¿Para qué tipo de análisis ingenieril usted necesita los resultados del ensayo corte directo?
- ¿Por qué la resistencia al corte de las arenas densas es mayor que la de las arenas sueltas?
- ¿En qué parte de la muestra de suelo están concentradas las deformaciones durante un ensayo de Corte Directo?
- ¿Cuál es el efecto de la densidad sobre el ángulo de fricción interna de la arenas?
- ¿Por qué la piedra porosa de una caja de corte directo son aserradas o provistas con dientes?

VII. REFERENCIAS

- Bardet, Jean Pierre. Experimental Soil Mechanics
- Bowles, Joseph. Manual de laboratorios de mecánica de suelos
- Das, Braja M. Fundamentos de Ingeniería geotécnica
- Norma ASTM. (D 421-58 y D 422-63)
- Norma AASHTO (T 88-70 y T 87-70)



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

NORMAS

ASTM
D3080-72

AASHTO
T236

PROYECTO:

LOCALIZACIÓN:

DIRECCION:

FECHA:

APIQUE N°:

MUESTRA N°:

PROF.:

DATOS DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS

Diámetro muestra, cm

Diámetro muestra, cm

Altura muestra, cm

Altura muestra, cm

Masa muestra, gr

Masa muestra, gr

Diámetro muestra, cm

Altura muestra, cm

Masa muestra, gr

DATOS PARA LAS HUMEDADES

Masa recipiente, gr

Masa recipiente, gr

Masa recipiente, gr

Masa rec + suelo húmedo, gr

M. recip + suelo hum, gr

M. recip + suelo hum, gr

Masa rec + suelo seco, gr

M. rec + suelo seco, gr

M. rec + suelo seco, gr

Constante del anillo de carga de la máquina de corte Directo(Kg/DIV) =

CARGAS	5 KG		10 KG		20 KG	
	Lectura del deformímetro horizontal (1×10^{-2} mm)	Lectura del deformímetro vertical (1×10^{-2} mm)	Lectura del deformímetro de carga	Lectura del deformímetro vertical (1×10^{-2} mm)	Lectura del deformímetro de carga	Lectura del deformímetro vertical (1×10^{-2} mm)
0						
10						
20						
30						
40						
50						
60						
70						
80						
90						
100						
110						
120						
130						
140						
150						
160						
170						
180						
190						
200						
210						
220						
230						
240						
250						
260						
270						
280						
290						
300						

UNIVERSIDAD DE SUCRE FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA CIVIL	VERSION: 02	
PRÁCTICA N° 12: DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE LOS SUELOS (ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA)	FECHA DE REVISÓN: 11-06-2020 ELABORÓ: ING. CARLOS MEDINA	

NORMAS: ASTM D2166-91, AASHTO T 208-70

I. GENERALIDADES

La prueba de compresión inconfinada es usada para medir la resistencia al corte inconfinada de los suelos de grano fino. La cual es un valor aproximado de su resistencia al corte no drenado.

Este ensayo es aplicable sólo a materiales cohesivos tales como arcillas saturadas o suelos cementados que conservan una resistencia intrínseca sin una presión de confinamiento. Este ensayo no es aplicable a suelos secos o sin cohesión, tales como gravas y arenas.

El ensayo de compresión inconfinada es quizá la más simple, fácil y más económica manera de investigar la resistencia al corte de los suelos.

Cuando se introdujo por primera vez el método para ensayar en compresión simple las muestras de suelo cohesivo recuperado del campo con tubos, fue aceptado ampliamente como un medio para determinar rápidamente la resistencia al corte de un suelo. Utilizando la construcción del círculo de Mohr, es evidente que la resistencia al corte o cohesión (c) de una muestra de suelo puede ser calculada aproximadamente como:

$$c = \frac{q_u}{2}$$

Este cálculo se basa en el hecho que el esfuerzo principal menor σ_3 es cero (atmosférico) y que el ángulo de fricción interna ϕ del suelo se supone cero. Esta condición $\phi = 0$ es la misma obtenida en el ensayo triaxial no consolidado no drenado realizado a un suelo saturado.

Cuando se tuvo más conocimiento del comportamiento del suelo se hizo evidente que el ensayo de compresión inconfinada generalmente no proporciona un valor bastante confiable de la resistencia al corte del suelo por al menos las siguientes tres razones:

- El efecto de la restricción lateral provista por la masa de suelo sobre la muestra se pierde cuando la muestra es removida del terreno. Existe sin embargo la opinión de que la humedad del suelo le provee un efecto de tensión superficial (o confinamiento) de forma que la muestra está algo "confinada". Este efecto debería ser más pronunciado si la muestra está saturada o cercana a ella. Este efecto también dependerá de la humedad relativa del área del experimento, lo cual hace su evaluación cuantitativa más difícil.
- La condición interna del suelo (grado de saturación, presión del agua de los poros bajo esfuerzos de deformación, y efectos de alteración del grado de saturación) no pueden controlarse.
- La fricción en los extremos de la muestra producida por las placas origina una restricción lateral sobre los extremos que altera los esfuerzos internos en una cantidad desconocida.

Los errores producidos por los dos primeros factores antes citados pueden eliminarse o por lo menos reducirse utilizando los experimentos de compresión confinados (triaxiales). El tercer aspecto ha sido objeto de considerable investigación, y actualmente se piensa que este factor no es tan importante

como podría suponerse a simple vista. Es posible fabricar platinas especiales de apoyo para reducir los efectos de fricción si se desean resultados experimentales muy refinados

II. OBJETIVOS

Introducir al estudiante a un procedimiento aproximado para evaluar la resistencia al corte de los suelos cohesivos.

Determinar la resistencia a la compresión no confinada (q_u), de un cilindro de suelo cohesivo o semi-cohesivo e indirectamente la resistencia al corte (c).

III. EQUIPO

UNIVERSIDAD DE SUCRE

El equipo para el ensayo de compresión inconfinada incluye:



Figura 1. Equipo ensayo de compresión inconfinada

Máquina de compresión inconfinada (cualquier tipo de máquina de compresión que tenga un sistema de lectura de carga de rango suficientemente bajo para obtener lecturas de carga aproximada)

- Deformímetro de carátula (lectura con precisión 0.01mm/división)
- Equipo necesario o disponible para moldeo o corte de la muestra
- Calibrador vernier
- Horno
- Balanza de sensibilidad 0.1 g
- Recipientes para el contenido de humedad.

IV. PROCEDIMIENTO

1. Cada grupo debe preparar dos muestras de tubo con relación L/d entre dos y tres.
2. Colocar las muestras en recipientes húmedos o dejarlas en el cuarto de humedad para prevenir su desecamiento mientras se espera turno para la máquina de compresión. Calcular la deformación correspondiente al 20% de la deformación unitaria para las muestras mientras se espera turno para la máquina, de forma que se pueda saber cuándo terminar el experimento si la muestra recibe carga sin mostrar un pico antes de que dicha deformación unitaria suceda.

Calcular la densidad de las muestras y pesar dos latas de contenido de humedad de forma que se pueda determinar el contenido de humedad de la muestra después de terminar el experimento.

3. Alinear cuidadosamente la muestra en la máquina de compresión. Si los extremos no son perfectamente perpendiculares al eje del espécimen, la parte inicial de la curva de esfuerzo-deformación unitaria será plana (hasta que el área total de la muestra contribuya a la resistencia del esfuerzo, las deformaciones unitarias serán demasiado grandes para el esfuerzo calculado).

Establecer el cero en el equipo de carga (bien sea un deformímetro de carátula para registrar la deformación de un anillo de carga o un DVM si se utiliza una célula de carga electrónica) y establecer el cero del deformímetro. En este momento es necesario aplicar una carga muy pequeña sobre la muestra (del orden de una unidad del deformímetro de carga, o quizás 0.5 kg para una celda de carga).

Prender la máquina y tomar lecturas en los deformímetros de carga y deformación como sigue (para un deformímetro de 0.01 mm/división):

10, 25, 50, 75, 100, y de aquí en adelante cada 50 a 100 divisiones del deformímetro, hasta que suceda uno de los siguientes:

- a. La carga sobre la muestra decrece significativamente.
- b. La carga se mantiene constante por tres lecturas.
- c. La deformación sobrepasa significativamente el 20% de la deformación unitaria.

Utilizar el formato para este experimento. Utilizar cuantos formatos sean necesarios para cada ensayo. Determinar el contenido de humedad para cada muestra.

4. Calcular la deformación unitaria, el área corregida, y el esfuerzo unitario, para suficientes lecturas (unos 8 a 10 puntos bien espaciados) para definir la curva esfuerzo-deformación unitaria adecuadamente. Dibujar los resultados en una hoja de papel milimetrado (ambas curvas en la misma hoja); mostrar qué como el esfuerzo pico en cada ensayo y mostrar el valor promedio de qué para ambos ensayos. Asegurarse de dibujar la deformación unitaria como abscisa.

V. CÁLCULOS, ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- a. Dibujar el círculo de Mohr utilizando el q_u promedio y mostrar la cohesión del suelo.
- b. Calcular la cohesión del suelo utilizando el círculo de Mohr de (a) y suponer que el suelo tiene un ángulo de fricción interna, $\phi = 10^\circ$. Discutir si q_u es conservativa o "no conservativa" bajo esta circunstancia.
- c. Calcular el módulo de elasticidad secante del suelo para 0.25, 0.5 y 0.75 q_u ; calcular también el módulo tangente inicial. Tabular estos valores en las "conclusiones" del informe.

VI. GUIA SUGERIDA

- ¿Cuáles son las propiedades de los suelos que son determinados en un ensayo de Compresión Inconfinada?
- ¿Cuál es el efecto del contenido de agua sobre la resistencia al corte Inconfinada?

- ¿Cómo puede el módulo de Young's ser calculado a partir de los resultados del ensayo de Compresión Incofinada?
- ¿A qué tipo de suelos es aplicable el ensayo de Compresión Incofinada?

VII. REFERENCIAS

- Bardet, Jean Pierre. Experimental Soil Mechanics
- Bowles, Joseph. Manual de laboratorios de mecánica de suelos
- Das, Braja M. Fundamentos de Ingeniería geotécnica,
- Normas ASTM. D 2166-91
- Normas AASHTO T 280-70





UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
GEOTECNIA I

COMPRESIÓN INCONFINADA

NORMAS

ASTM
D2166-91

**AASHTO
T 208-70**

PROYECTO:
LOCALIZACIÓN:
DIRECCION:
FECHA:

APIQUE N°:	
MUESTRA N°:	
PROF.:	

Diametro de la muestra, cm	
Altura de la Muestra, cm	
Masa muestra Húmeda, gr	

Peso Unitario húmedo de la muestra, kN/m³	
Contenido de humedad, %	
Peso Unitario seco de la muestra, kN/m³	

CARGA ÚLTIMA, q_u , (KN/m²)