



Facultad de Estudios Superiores

Acatlán

TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

MANUAL DE PRÁCTICAS LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

FESA PAL IIC CS

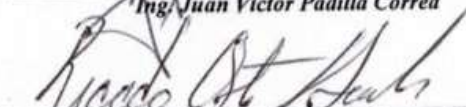
ELABORÓ:

PROFESOR


Ing. Juan Victor Padilla Correa

REVISIÓN
TÉCNICA:

JEFE DE SECCIÓN


Dr. Ricardo Enrique Ortiz Hermosillo

COORDINADOR DEL PROGRAMA


Ing. Ricardo García Valdivia

REVISIÓN DE GC:

RESPONSABLE DE GESTIÓN DE LA CALIDAD


Esp. Fanny Maricela Bernal Herrera

AUTORIZÓ:

REPRESENTANTE DE LA DIRECCIÓN / COORDINADORA DE SERVICIOS ACADÉMICOS


Lic. Sara Luz Alvarado Aranda

Fecha de Emisión: 2025.02.05

CONTENIDO

Número de Sesión práctica	Nombre	Página
1	Determinación del contenido de humedad	4
2	Determinación de pesos específicos relativos de los sólidos	11
3	Determinación de pesos específicos, relación de vacíos y porosidad	23
4	Análisis granulométrico de un suelo mediante el empleo de mallas por la vía húmeda	31
5	Determinación de los límites de consistencia	39
6	Clasificación de los suelos y su identificación visual y al tacto en campo	58
7	Determinación de la permeabilidad	67
8	Ensaye de consolidación unidimensional en suelos finos	73



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

Código: FESA PAL IIC CS Fecha de emisión: 2025.02.05

Revisión: 05

Introducción

Es en el laboratorio de la asignatura de Comportamiento de los Suelos donde se complementa los conocimientos adquiridos en la asignatura teórica, ya que se realizan una serie de ensayos con los cuales se define los parámetros de comportamiento de los suelos.

Resulta de manera fundamenta en la mecánica de suelos, la correcta realización de los ensayos de laboratorio a las muestras de suelo, debido a que con los resultados obtenidos se establecen los parámetros de diseño de las obras de ingeniería de diferente envergadura y resultan muy relevantes para un adecuado diseño.

En el laboratorio de Comportamiento de los Suelos se aprende a determinar las principales propiedades índice de los suelos como son el la practica uno, que corresponde a la determinación del contenido de humedad, en las practicas dos y tres se determinan sus pesos específicos en estado natural, seco, sumergido, densidad de sólidos y demuestra en forma practica la relación de vacíos y porosidad. Durante las sesiones practicas cuatro y cinco se estable el tamaño de las partículas sólidas del suelo y la distribución de tamaños, además se definen los estados de consistencia mediante la determinación de los límites de consistencia por diferentes procedimientos.

Se comprende el comportamiento del suelo ante el paso del agua mediante la sesión práctica de permeabilidad y se establece el comportamiento mecánico de un suelo fino cuando está sujeto a una presión con la sesión práctica de consolidación unidimensional.

En el presente manual se indican los principales pasos a seguir durante los ensayos realizados, los cuales se pueden ampliar o disminuir de acuerdo al tipo de suelo ensayado, así mismo se sugiere para un mejor aprovechamiento que se curse en forma simultánea la asignatura.

SESIÓN PRÁCTICA No. 1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

1. OBJETIVO

El alumno determinará el **contenido de agua o humedad** de varias muestras de suelo.

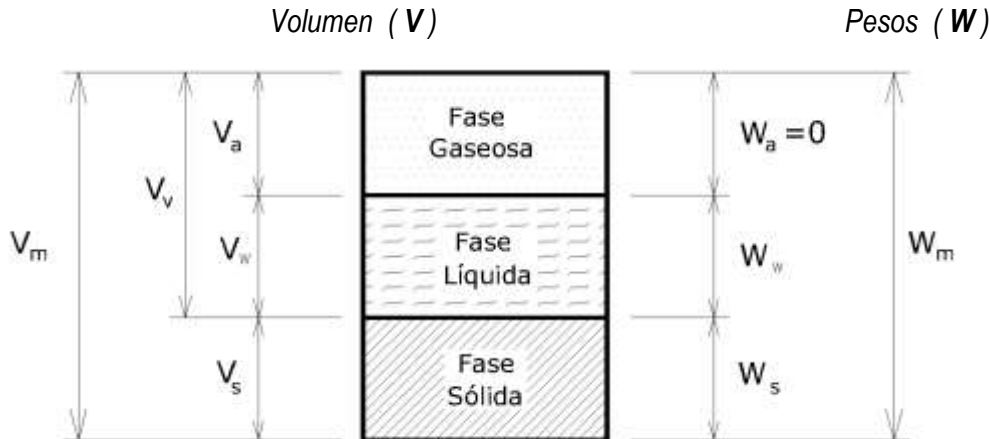
Es importante la comprensión adecuada de esta sesión práctica para poder entender el comportamiento mecánico de los suelos, además, es necesario conocer cómo se determina, ya que en varias ocasiones del curso se obtiene, como parte de otros ensayos de laboratorio.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Podemos decir que suelo es todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. Dentro de los suelos no se encuentran incluidas las rocas sanas de origen ígneo o metamórfico, y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no se ablanden o desintegren rápidamente por acción de la intemperie.

Además el agua contenida juega un papel tan fundamental en el comportamiento mecánico del suelo, que se debe considerarse como parte integral del mismo.

Para entender que es el contenido de agua resulta necesario dibujar el esquema representativo de suelos:



Se conoce como **contenido de agua o humedad** de un suelo, a la relación entre el peso del agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida, suele indicarse en porcentaje y se expresa con la siguiente fórmula:

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

De la observación de la expresión se indica que puede variar teóricamente de 0 a:

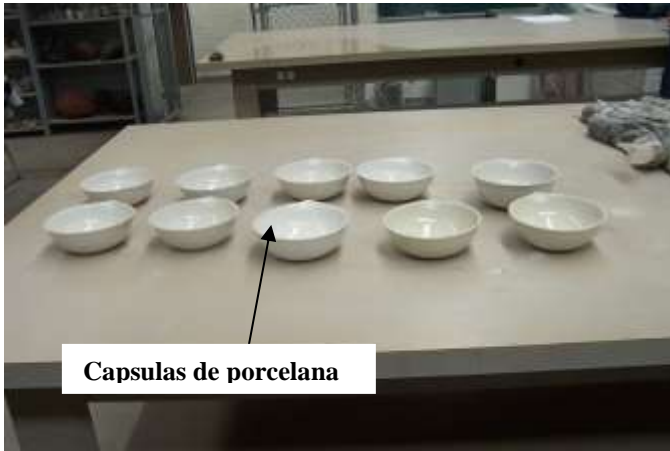
En la naturaleza la humedad de los suelos varía entre límites muy amplios. En arcillas japonesas se han registrado contenidos de agua de 1,200 a 1,400%, si bien estos valores son excepcionales.

En México, existen valores de 1,000% en arcillas procedentes de la región sureste del país. En el valle de México son normales humedades de 300 a 600%.

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

3.1 EQUIPO

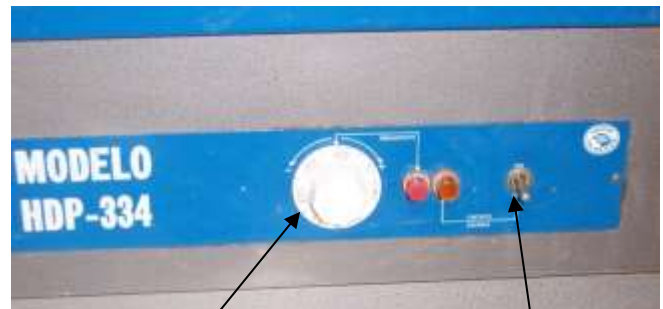
- Horno eléctrico con temperatura constante entre 110 ± 5 °C.
- Cápsula de porcelana o recipiente metálico.
- Espátula.
- Bascula electrónica.



Báscula eléctrica



Horno Eléctrico



Ajuste de la temperatura constante

Control de encendido



Horno Eléctrico



Temperatura

Controles

3.2 MATERIAL

Varias muestras de suelo con diferentes características y profundidades (de preferencia de un sondeo en forma continua para conocer la variación del contenido de humedad con respecto a la profundidad).



Muestras alteradas

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

1. Tomar un recipiente, identificarlo con un número y enseguida pesarlo (puede ser una cápsula de porcelana o un recipiente de vidrio o aluminio), obteniendo W_r .



2. Colocar en el recipiente una porción representativa de suelo, la cantidad de material estará en función del tamaño de las partículas que lo constituyan.



3. Pesar el recipiente con la muestra de suelo, en este caso está el suelo húmedo, obteniéndose W_{rsw} .



4. Introducir el recipiente con la muestra de suelo al horno, el cual deberá estar a una temperatura de 100 °C a 110 °C; se dejará hasta que el agua contenida dentro de la muestra de suelo haya desaparecido por evaporización, generalmente ocurre en un lapso de tiempo comprendido entre 12 y 18 horas (1 día).

Comprobar que realmente está seco, colocando un vidrio de reloj sobre la cápsula. Como se observa en la imagen de la derecha, no se deben de ver gotas de agua.



5. Pesar el recipiente con la muestra de suelo en estado seco, es decir, cuando su peso no varía con el tiempo, obteniéndose W_{rss} .



6. Determinar el contenido de humedad de la muestra de suelo mediante el empleo de la siguiente expresión:

$$W(\%) = \frac{W_{rsw} - W_{rss}}{W_{rss} - W_r}$$



**TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

Código: FESA PAL IIC CS Fecha de emisión: 2025.02.05

Revisión: 05

5. RESULTADOS

Se deberá presentar un informe de la sesión práctica donde se incluirán los resultados de los contenidos de agua de los diferentes compañeros del grupo. Los que se presentan resumidos en una tabla como la siguiente:

<i>Nº De Cápsula</i>	<i>Color del Suelo</i>	<i>Profundidad (m)</i>	W_r (g)	W_{rsw} (g)	W_{rss} (g)	W_w (g)	W_s (g)	ω (%)	<i>OBSERVACIONES</i>

6. CONCLUSIONES.

Las obtenidas durante la ejecución de la prueba y con los resultados obtenidos.

OBSERVACIONES.

- Para poder hacer una determinación más confiable de humedad de un suelo, se pueden emplear las siguientes cantidades de suelo:

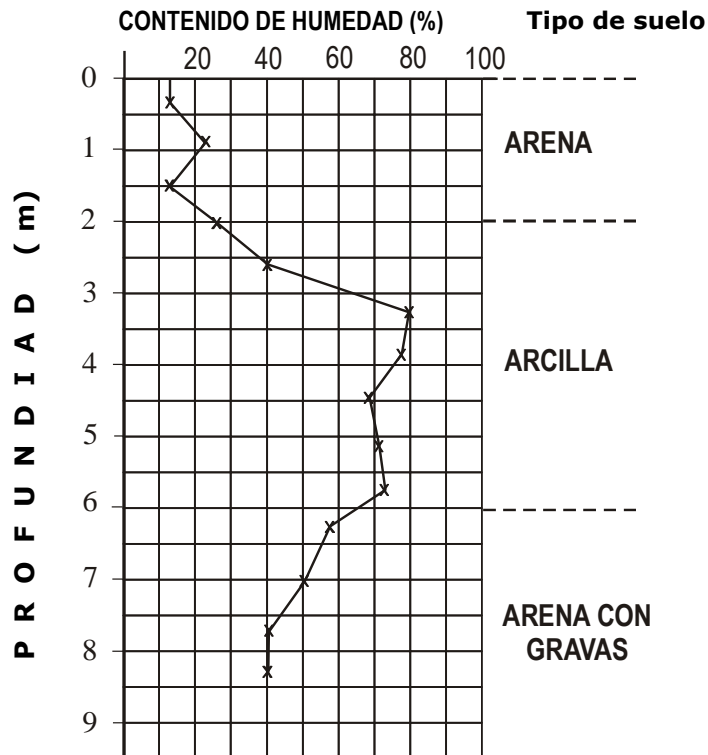
Tamaño de las partículas	> 2"	0.5 cm a 2"	0.5 cm a 0.1 cm	< 0.1 cm
Peso (g)	1000	200	100	50

- Con objeto de no tener variaciones en los pesos de los recipientes, se sugiere que estos se coloquen dentro de un desecador, con el fin de que se enfríe.

7. En ocasiones la temperatura de 110 °C puede calcinar el material cuando contiene materia orgánica, por lo que para turbas la temperatura que se recomienda deberá de ser del orden de los 60 °C.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

8. Es importante antes de la determinación del peso de recipiente con suelo seco verificar que el suelo se haya secado completamente, de preferencia empleando un vidrio y observando que no se empañe por la condensación del agua en la muestra de suelo.
9. En varios laboratorios se ha estado empleando últimamente el horno de microondas para secar las muestras de suelo, que pueden ahorrar en un momento dado tiempo en la ejecución del ensaye.
10. Hacer una gráfica de profundidad contra humedad, como se indica en el siguiente formato e indicar el tipo de material.



SESIÓN PRÁCTICA No. 2

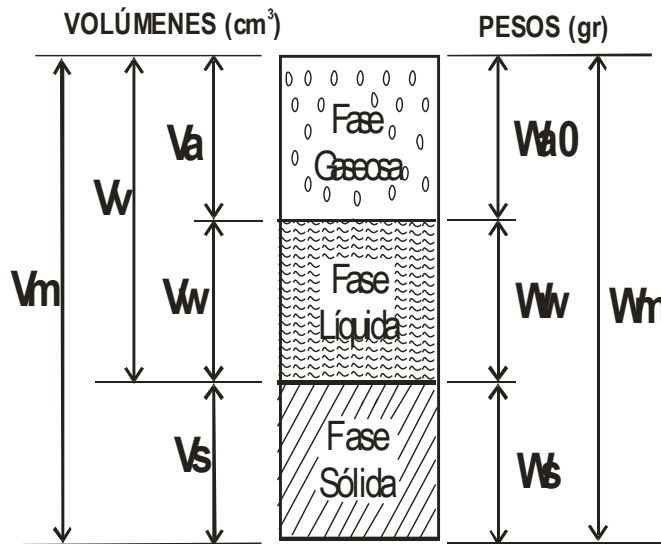
DETERMINACIÓN DE PESOS ESPECÍFICOS RELATIVOS DE LOS SÓLIDOS

1. OBJETIVO

El alumno determinará de una muestra de suelo fino y de un suelo grueso, el peso específico relativo de los sólidos o comúnmente denominada densidad de sólidos.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Para poder entender y estudiar a los suelos se recurre inicialmente al esquema representativo de los suelos, que es el siguiente:



En el esquema se puede apreciar tres fases; la fase gaseosa corresponde a todos los gases que contiene el suelo, la fase líquida muestra las sustancias en estado líquido en las que está el suelo y la fase sólida corresponde al espacio ocupado por las partículas sólidas ya sean orgánicas e inorgánicas.

Analizando a la fase sólida, que corresponde a las partículas sólidas; se inicia con el peso específico de los sólidos, que refiere al peso de las partículas sólidas entre el volumen que ocupa y se denota con la siguiente expresión;

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad \begin{array}{l} \text{peso de la fase sólida} \\ \text{volumen de la fase sólida} \end{array}$$

Se tiene el peso específico del agua destilada a 4 °C de temperatura y al nivel del mar a la que se denomina γ_0 , la cual en términos generales tiene un valor igual a 1 g/cm³.

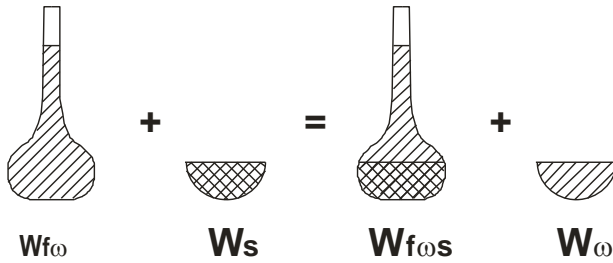
El peso específico relativo de los sólidos es una relación del peso específico de los sólidos y del peso específico del agua destilada y a 4° C, como se expresa a continuación:

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_0} \quad \begin{array}{l} \text{peso específico de los sólidos} \\ \text{peso específico del agua destilada} \end{array} \quad S_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_0}$$

De acuerdo anterior, es necesario conocer el peso de los sólidos y el volumen que ocupan únicamente de las partículas sólidas del suelo para poder determinar el peso específico de los sólidos.

Para su determinación se inicia secando la muestra de suelo, eliminando la fase líquida del suelo.

Para el conocimiento del volumen de las partículas sólidas se recurre al principio de Arquímedes; en donde se determina su volumen mediante el volumen de agua que desplaza, como se indica a continuación:



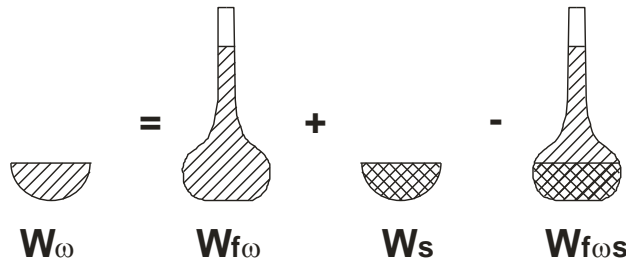
En el esquema se tiene:

$Wf\omega$ => peso del matraz lleno de agua

W_s => peso de las partículas finas

$Wf\omega_s$ => peso del matraz con sólidos

$W\omega$ => peso del agua desalojada para poder contener a los sólidos.



Recurriendo al peso específico del agua, en la cual se tiene:

$$\gamma\omega = \frac{W\omega}{V\omega} = 1 \text{ g/cm}^3$$

De tal manera que el peso del agua desplazada corresponde al volumen de agua desplazada y es el volumen de los sólidos.

$$S_s = \frac{W_s}{Wf\omega + W_s - Wf\omega_s}$$

Es necesario que cuando se vierta el suelo dentro del matraz, que se eliminen todos los huecos, lo cual puede ser colocar la boca del matraz en una cámara de vacíos o bien poniéndolo en ebullición.

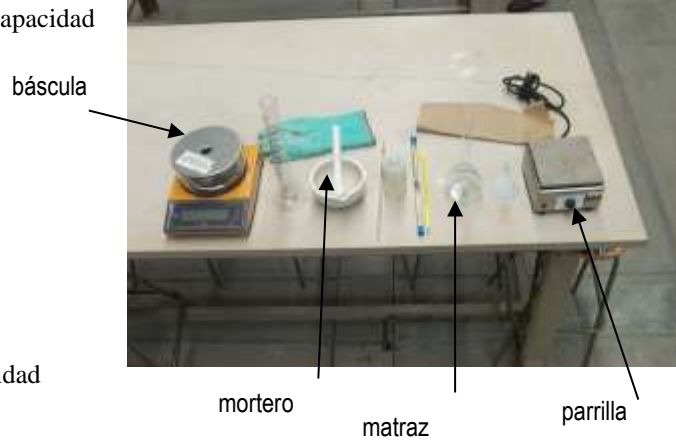
Además para evitar variaciones del volumen del matraz con la temperatura y el agua, es necesario tener el peso del matraz con agua a distintas temperatura (calibración del matraz).

Los valores del peso específico relativos de los sólidos varía en valores muy estrechos entre 1.5 y 3.0, el menor valor corresponde a suelos con alto contenido orgánico, y el más alto a suelos con alto contenido de minerales de hierro.

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

3.1 EQUIPO

- Matraz aforado de 500 ml + 0.40 ml de capacidad a 20 °C con tapón esmerilado.
- Termómetro de 0 °C a 50 °C.
- Báscula electrónica
- Espátula
- Embudo
- Pipeta
- Piseta
- Mortero
- Cápsula de porcelana
- Parrilla eléctrica
- Probeta graduada de 1 000 ml de capacidad
- Bomba de vacío
- Baño maría
- Horno eléctrico con temperatura constante entre 100 °C y 110 °C:
- Guantes de carnaza.



3.2 MATERIAL

- Varias muestras de suelo de preferencia secas (gravas, arena y material fino)
- Agua destilada y desairada
- Toallas de papel
- Jabón líquido



4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

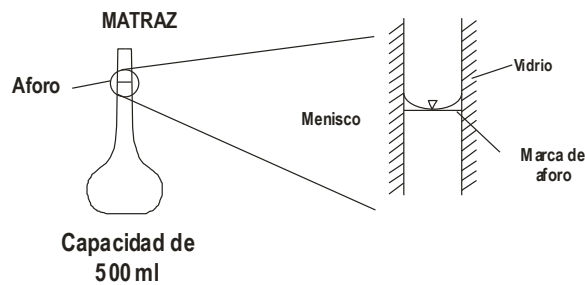
La sesión práctica se divide en tres partes:

- Calibración del matraz
- Determinación de la densidad de sólidos de un suelo fino
- Determinación de la densidad de sólidos de una grava.

a) **Calibración del matraz**

Previamente a la realización de la prueba se calibrará el matraz, lo cual consiste en la determinación del peso del matraz con agua a diferentes temperaturas, con el siguiente procedimiento:

1. Lavar perfectamente el matraz a utilizar durante el ensaye de laboratorio, si tiene residuos de fabricación se empleará inicialmente jabón posteriormente una mezcla crómica y finalmente éter.
2. Secar el matraz y llenarlo con agua destilada hasta la marca de aforo, haciendo coincidir la parte inferior del menisco con la marca de aforo, como se indica en la siguiente figura.



3. Limpiar el matraz perfectamente, incluso el interior del cuello y proceder a pesarlo, obteniendo el peso del recipiente con agua (W_{rw}).



4. Uniformizar la temperatura del matraz y proceder a medirla en la parte media del recipiente.



5. Incrementar la temperatura del agua del matraz entre 45 °C y 50 °C, colocándolo directamente sobre una parrilla.



6. Con ayuda de la pipeta retirar el agua que pasa de la marca de aforo, haciendo coincidir la parte inferior del menisco con la marca de aforo.



7. Una vez aforado el matraz, se procede a limpiarlo perfectamente, a pesarlo, posteriormente a uniformizar su temperatura y determinarla.

8. Bajar la temperatura del matraz en rangos de 2 °C a 3 °C, colocando el matraz dentro de una cubeta con agua fría.

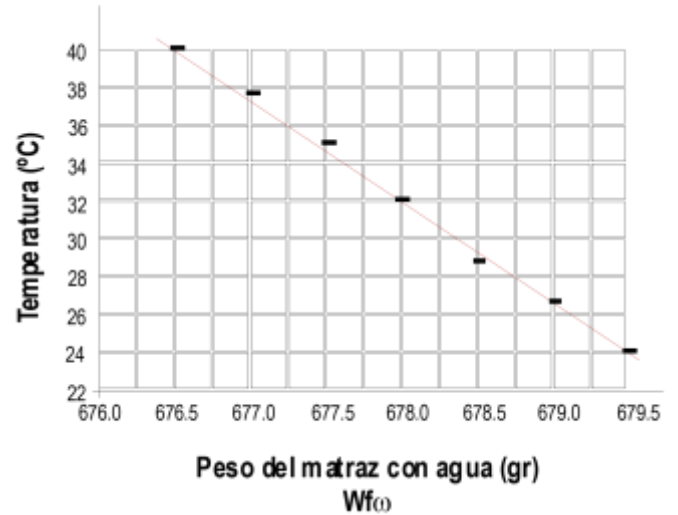
9. Aforar el matraz, es decir retirarle el agua sobrante hasta que coincida con la marca de aforo, limpiarlo perfectamente; posteriormente pesarlo y por último uniformizar su temperatura y determinarla.



10. Repetir los pasos 8 y 9 hasta tener una temperatura entre 20 °C a 25 °C.

11.- Con los datos obtenidos de pesos del matraz y temperatura, trazar la curva de calibración del matraz.

Peso del matraz con agua W_{fw} (g)	Temperatura °C



GRAFICA DE CALIBRACIÓN DEL MATRAZ

b) Determinación de la densidad de sólidos de un suelo fino

1. Secar una muestra de suelo fino que pase la malla No. 40.



2. Tomar una porción del suelo seco, entre 50 g y 100 g, (en caso de ser un material arcilloso, deshacer los grumos empleando un mortero)



3. Obtener el peso del suelo seco W_s

4. Vaciar el suelo dentro del matraz, mediante el auxilio de un embudo, cuidando de no dejarlo caer y los residuos que se queden dentro del embudo hacerlos deslizar mediante el empleo de agua y una piseta.



5. Llenar el matraz con agua destilada y desairada entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de la capacidad del matraz.
6. Colocar el matraz en la cámara de vacíos o bien en ebullición durante un tiempo mínimo de 10 minutos, con el objeto de expulsar todo el aire atrapado, teniendo cuidado de no dejar solo el recipiente, girando ligeramente.



7. Bajar la temperatura del matraz a un rango de temperatura que comprenda el rango de calibración, empleando una cubeta con agua fría.



8. Llenar el matraz con agua destilada hasta la marca de aforo y aforarla.



9. Pesar el matraz con sólidos y agua, obtenido W_{rs} .



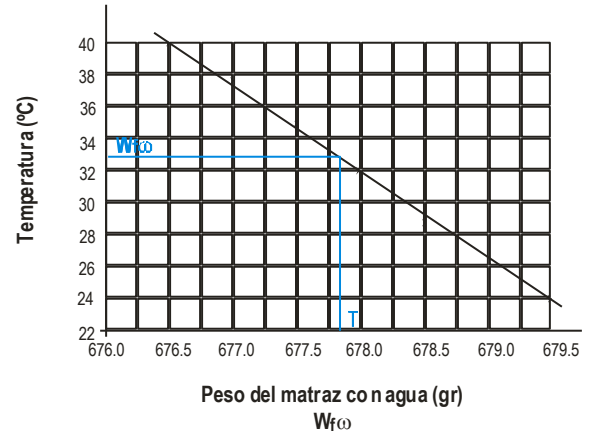
10. Uniformizar la temperatura del agua contenida dentro del matraz y proceder a medirla.



11. Calcular la densidad de sólidos mediante la siguiente expresión:

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

El $W_{f\omega}$ y W_{fsw} deberán de estar a la misma temperatura; para determinar $W_{f\omega}$, se recurre a la curva de calibración del matraz.



12.- Se recomienda determinar S_s empleando dos matraces con la misma muestra, la densidad de sólidos es el promedio. En caso de presentar un error mayor del 2% se recomienda repetir la prueba.

5. RESULTADOS

Se deberá presentar un informe de la sesión práctica donde se incluirán los resultados de la calibración de los distintos matraces calibrados por los distintos equipos y los resultados de las densidades de los sólidos obtenidas con los diferentes compañeros del grupo.

Los datos se presentaran en forma condensa en una tabla como la siguiente para la siguiente:

CALIBRACIÓN DE MATRACES

Matraz 1		Matraz 2		Matraz 3	
W _{rw}	T °C	W _{rw}	T °C	W _{rw}	T °C

PRUEBA	1	2
Matraz No.		
W _s		
W _{mws}		

Temperatura		
-------------	--	--

W_{mw} a la $^{\circ}T$		
Ss		
Ss promedio		

c) **Determinación de la densidad de sólidos de una grava**

1. Dejar en un recipiente saturar varias gravas, de preferencia durante un periodo de 24 horas.



2. Secar superficialmente la muestra y pesarla, obteniendo el peso de la grava húmeda (W_{gh}).



3. Introducir la grava dentro de una probeta graduada, determinando el volumen de la grava mediante la diferencia de lecturas provocada por el volumen desalojado.



4. Secar la muestra de suelo, introduciéndola en el horno.
5. Pesar la grava seca, obteniendo el peso de la grava seca (W_{gs}).
6. Obtener el porcentaje de absorción, mediante el empleo de la siguiente expresión:

$$W_{gh} - W_{gs}$$

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

Código: FESA PAL IIC CS Fecha de emisión: 2025.02.05

Revisión: 05

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{\text{-----}}{W_{gs}} \times 100$$

7. Calcular la densidad de sólidos de la grava utilizando la siguiente fórmula:

$$S_s = \frac{W_{gs}}{\text{Volumen desalojado} - \text{Volumen de absorción}}$$

6. CONCLUSIONES.

Las obtenidas durante la ejecución de la sesión práctica y con los resultados obtenidos del suelo.

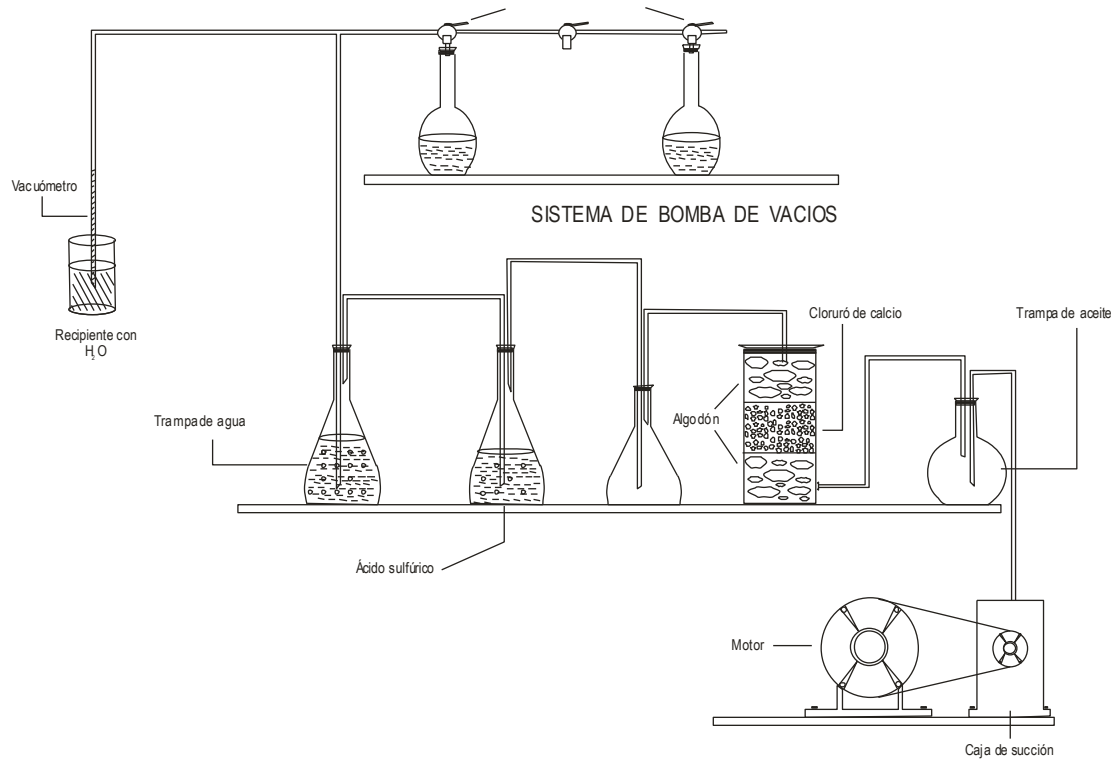
Comparar los resultados obtenidos con los rangos de variación real.

OBSERVACIONES

Indicar la importancia del conocimiento de la densidad de sólidos para determinar las relaciones volumétricas y gravimétricas de los suelos.

La densidad de sólidos de los equipos no debe de tener una variación mayor del 2%, en caso contrario se presentaron algunos errores durante la ejecución de la sesión práctica.

El desaire del matraz se puede efectuar también mediante el empleo de una bomba de vacíos, como el mostrado en la siguiente figura.



SESIÓN PRÁCTICA NO. 3

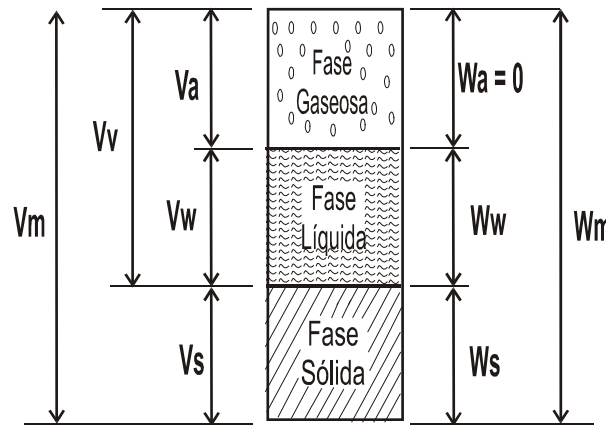
DETERMINACIÓN DE PESOS ESPECÍFICOS, RELACIÓN DE VACÍOS Y POROSIDAD

1. OBJETIVO

El alumno determinará y comprenderá en forma práctica los conceptos de peso específico de la masa del suelo, el peso específico seco y peso específico sumergido, así como calculará la relación de vacíos y la porosidad de varias muestras de suelo con el fin de comprender las relaciones volumétricas y gravimétricas.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Una vez conocido que es un suelo, es necesario empezar a determinar sus propiedades índice, para poder comprender su comportamiento mecánico e hidráulico que presentan cuando son sometidos a presiones estáticas e hidráulicas, para ello se inicia con la representación esquemática de un suelo, para definir las:



En el esquema se tienen tres fases, que son las partes en las cuales puede estar la materia.

La fase sólida corresponde a todas las partículas sólidas del suelo, ya sean orgánicas o inorgánicas, esta se encuentra colocada en la parte inferior.

Todos los líquidos que conforman al suelo, el cual principalmente es el agua conforman a la fase líquida.

Los gases principalmente el aire constituyen a la fase gaseosa y el la colocada en la parte superior, es mecánica de suelos el peso del aire es despreciable, además este es difícil de determinar y no tiene mucha aplicación.

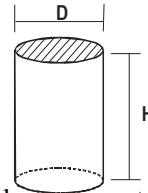
De dicho esquema poder ver que el suelo está constituido por sólidos, agua y gases, cada una de las cuales ocupa un volumen y tiene un peso, como se indica a continuación:

- V_m = volumen total de la muestra de suelo
- V_s = volumen de la fase sólida de la muestra
- V_v = volumen de los vacíos de la muestra de suelo
- V_w = volumen de la fase líquida contenida en la muestra

- V_a** = volumen de la fase gaseosa de la muestra
- W_m** = peso total de la muestra de suelo
- W_s** = peso de la fase sólida de la muestra
- W_w** = peso de la fase líquida contenida en la muestra, principalmente el agua
- W_a** = peso de la fase gaseosa de la muestra, considerado como nulo en Mecánica de Suelos

Durante el manejo de los suelos es necesario conocer el peso específico de la masa o peso específico húmedo, el cual se puede decir que es el peso de la masa entre el volumen que es ocupado por la masa. Se suele representar con γ_m y es:

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



Volumen del cilindro del suelo corresponde al volumen del suelo y su peso total es el peso de la masa

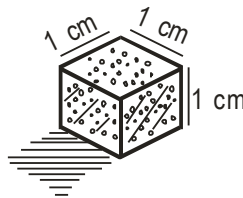
En algunas ocasiones se trabaja también con el peso específico seco, como su mismo nombre lo indica corresponde al peso solamente de la parte sólida o sea sin el peso del agua, dividido entre el volumen de la masa de suelo, se representa con γ_d :

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

El peso específico del agua en condiciones de trabajo

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

$$\gamma_w \approx \begin{matrix} 1 \text{ g/cm}^3 \\ 1 \text{ t/m}^3 \end{matrix}$$



También se llega a manejar dentro de los suelos al peso específico sumergido, esto quiere decir que es el peso del suelo bajo el agua.

$$\gamma' = \gamma_m - \gamma_w$$

Todos los huecos del suelo o sea la parte que no es ocupada por la parte sólida, se le denomina volumen de vacíos, esta es la suma del volumen que ocupa la fase líquida y el volumen de la fase gaseosa. Una relación muy usada en la mecánica de suelos es relación de vacíos, e; representada con la siguiente expresión:

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

V_s

Una relación que también se emplea en la mecánica de suelos donde esta involucrada la relación de vacíos, es la porosidad, la cual es más empleada en suelos con partículas gruesas. Esta dado por:

$$n (\%) = \frac{V_v}{V_m} \times 100$$

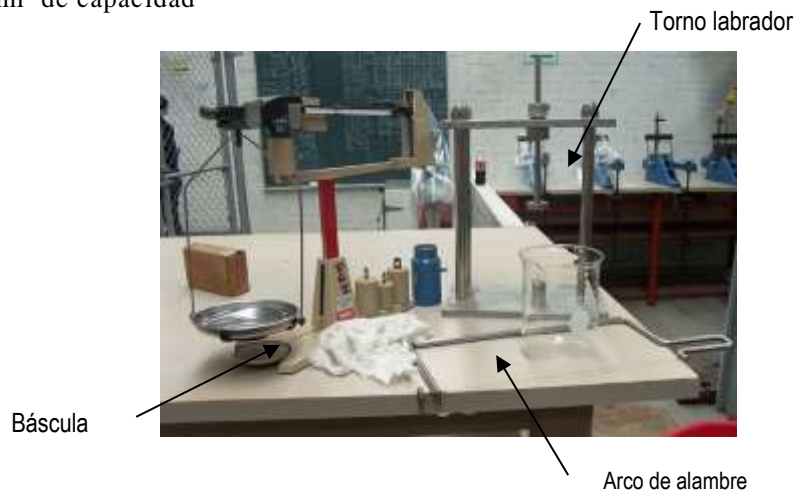
En ocasiones se necesita conocer que tan saturado se encuentra el suelo, para ello se utilizó la determinación del grado de saturación, dado con la siguiente fórmula:

$$G_w (\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

3.1 EQUIPO

- Vasos de precipitado de 1 000 ml de capacidad, con bordes rectos
- Probeta graduada de 100 ml ó 200 ml de capacidad
- Regla metálica
- Báscula electrónica
- Bascula mecánica
- Espátula
- Parrilla eléctrica
- Cuchillo
- Torno labrador de muestra
- Arco de alambre
- Vernier.



3.2 MATERIAL

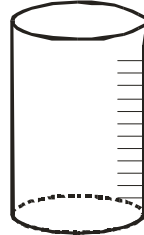
- Varias muestras de suelo secas con diferentes características, puede ser una arena y una grava de diferentes graduaciones y una mezcla de ellas.
- Muestras de suelo inalteradas, de preferencias de arcilla
- Manta de cielo (2 fracciones de 10 cm x 15 cm)
- Parafina con brea
- Agua destilada de preferencia a 20 °C.

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

I. Parte demostrativa empleando una muestra de suelo alterada:

1. Tomar el vaso de precipitado, limpiarlo perfectamente para quitar cualquier residuo de las sesiones prácticas anteriores.

2. Proceder a pesar el vaso de precipitado, obteniéndose el peso de recipiente al que se designa W_r (peso del recipiente).



3. Determinar el volumen del vaso de precipitado, empleando agua y la probeta graduada cuidando de no formar burbujas, obteniéndose V_r (volumen del recipiente).

4. Llenar el vaso de precipitado con el suelo, enrasando la superficie empleando la regla metálica, procediendo a continuación a determinar su peso, obteniéndose W_{rss} (peso del recipiente con suelo seco).



5. Llenar el recipiente con agua, cuidando que no se caiga o derrame determinado el volumen que se introduce en el recipiente, el cual corresponde a los huecos que dejan las partículas sólidas, obteniéndose el volumen del agua V_w , y que se asemeja al volumen de vacíos.

6. Pesar el recipiente con la muestra de suelo y agua, en este caso obteniéndose W_{rsw} (peso del recipiente con suelo húmedo).

7. Obtener el peso específico de la masa de suelo mediante el empleo de la siguiente expresión:

$$\gamma_m = \frac{W_{rsw} - W_r}{V_r}$$

Calcular el peso específico seco del suelo mediante el uso de la siguiente expresión:

$$W_{rss} - W_r$$

$$\gamma_d = \frac{\text{-----}}{V_r}$$

Determinar la relación de vacíos de la muestra de suelos mediante la siguiente expresión:

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

$V_v \Rightarrow V_w$, que entra en el recipiente.

8. Obtener la porosidad de una muestra de suelo, mediante la siguiente expresión:

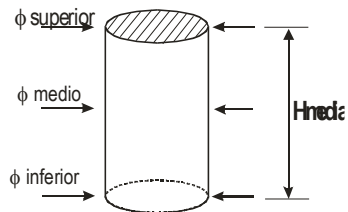
$$n (\%) = \frac{V_v}{V_r} \times 100$$

II. Muestras inalteradas

1. Labrar de una muestra de suelo inalterada, preferentemente de un suelo cohesivo, una figura geométrica conocida para poder determinar su volumen, preferentemente labrando un cilindro, se puede emplear el torno labrador.



2. Determinar las dimensiones de la muestra de suelo labrada, que son el diámetro superior, diámetro medio y diámetro inferior, así como su altura (h).



3. Calcular el diámetro medio (promedio d_m) y posteriormente el volumen de la muestra de suelo (V_m)

$$V = [\pi * (d_m)^2] / 4 * h$$

4. Determinar su peso (W_m).



5. Calcular su peso específico de la masa γ_m , empleando la expresión:

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



6. Envolver la muestra de suelo en un pedazo de manta de cielo y cubrirlo con parafina, previamente derretida.

7. Determinar su peso y estimar la cantidad de parafina.



8. Determinar el peso de la muestra de suelo protegida con la parafina, bajo el agua.

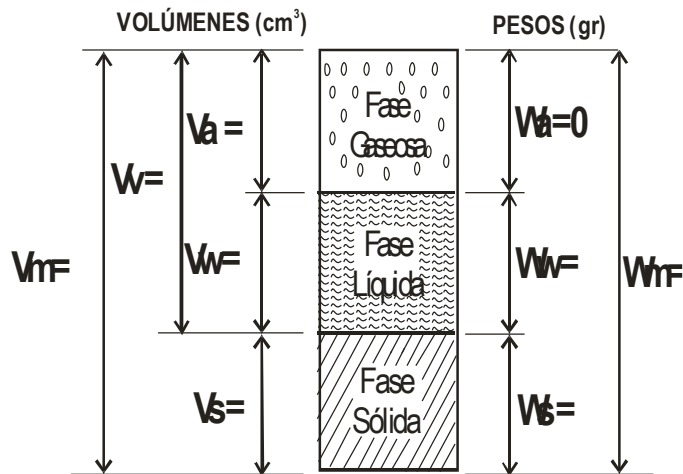


9. Calcular el peso específico sumergido γ'_m .

$$\gamma'_m = \frac{W_m}{V_m}$$

10. De una porción de suelo determinar su contenido de agua, siguiendo el procedimiento indicado en la sesión práctica de determinación de contenido de agua.

11. Llenar todos los valores los datos del esquema representativo del suelo (W_s , W_w , V_s , V_w , V_a , V_v).



12. Para definir el volumen de los sólidos considerar $S_s = 2.5$.

5. RESULTADOS

Se deberá presentar un informe de la sesión práctica donde se incluirán los resultados de los pesos volumétricos de los diferentes compañeros del grupo. Los que se presentaran condensados en una tabla como la siguiente:

No. de Muestra	Color del suelo	Wr (g)	Vr (cm ³)	Wrss (g)	Vw (cm ³)	Wrsw (g)	γ_m (g./cm ³)	γ_d (g./cm ³)	e	n (%)

Completar la sesión práctica mediante la representación de los datos en un esquema representativo del suelo e indicando los datos, que se muestra en el esquema.

6. CONCLUSIONES

Las obtenidas durante la ejecución de la sesión práctica y con los resultados obtenidos del suelo.

OBSERVACIONES

- Con la presentación de esta sesión práctica se demuestran en forma sencilla las relaciones volumétricas y gravimétricas de los suelos.
- Dar un panorama más amplio de la aplicación de las relaciones anteriores en los problemas de ingeniería relacionados con los suelos.

SESIÓN PRÁCTICA NO. 4

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE UN SUELO MEDIANTE EL EMPLEO DE MALLAS POR LA VÍA HÚMEDA

1. OBJETIVO

El alumno conocerá los diferentes tamaños de partículas que constituyen a una muestra de suelo por medios mecánicos, así como la forma de sus partículas, realizará una representación gráfica de la distribución de los tamaños, así como su interpretación.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Durante el estudio de las propiedades índice de los suelos, es necesario el conocimiento de la distribución de tamaño de las partículas sólidas que constituyen al suelo.

Algunas instituciones establecen los diferentes tipos de suelo en función del tamaño de las partículas que los constituyen, como son los siguientes:

<i>Tipo de partícula</i>	<i>Tamaño de las partículas (mm)</i>			
	<i>Normas Británicas</i>	<i>ASSHTO</i>	<i>ASTM</i>	<i>SUCS*</i>
<i>Grava</i>	60.0 – 2.00	75.0 – 2.00	> 2.0	75.00 – 4.750
<i>Arena</i>	2.00 – 0.06	2.00 – 0.05	2.00 – 0.075	4.750 – 0.075
<i>Limo</i>	0.06 – 0.002	0.05 – 0.002	0.075 – 0.005	< 0.075 finos
<i>Arcilla</i>	< 0.002	< 0.002	< 0.005	

* SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)

Para determinar el tamaño de las partículas sólidas del suelo existen diferentes procedimientos, que son los siguientes:

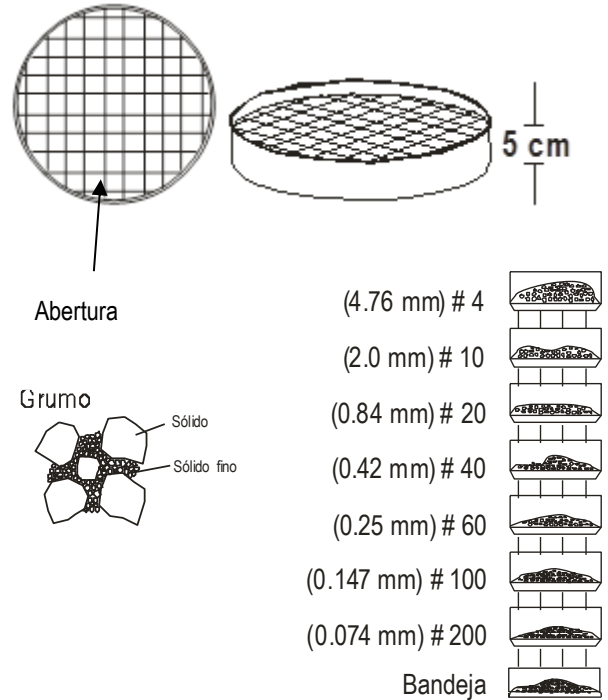
<i>Tamaño</i>	<i>Procedimiento</i>	
<i>Mayor de 3" (7.5 cm)</i>	<i>Medición directa</i>	<i>Empleando el vernier</i>
<i>Entre 7.5 cm y 0.074 mm</i>	<i>Tamices</i>	<i>Utilizando un juego de mallas</i>
<i>Menor de 0.074 mm</i>	<i>Sedimentación</i>	<i>Empleando el hidrómetro o densímetro</i>

Los métodos anteriores se pueden emplear solos o combinarse.

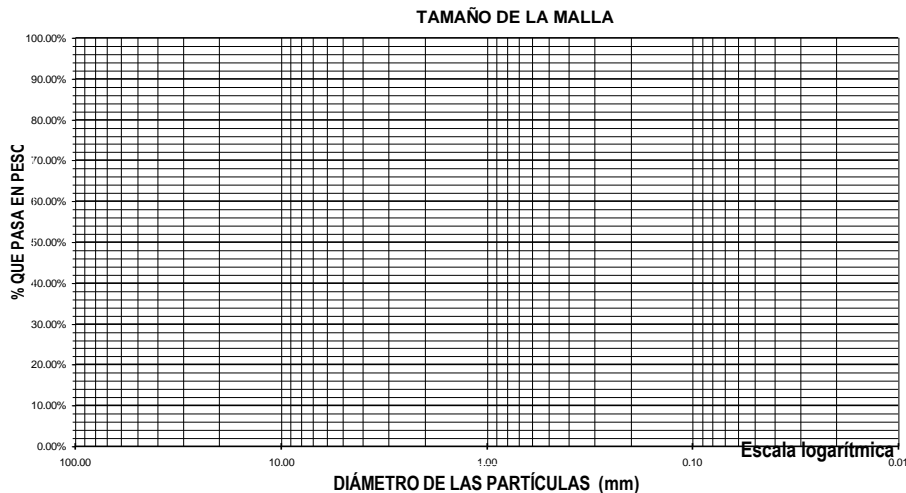
Las mallas que se utilizan una son unas charolas metálicas de aproximadamente 20 cm de diámetro y del orden de 5 cm de altura, que tiene una serie de alambres de acero, con abertura rectangular; las cuales se emplean para saber el rango de tamaños, dado que es imposible de determinar el tamaño real de cada una de las partículas sólidas.

En los criterios mostrados se establece que el tamaño de las partículas finas indican que son menores del tamaño de 0.05 mm a 0.07 mm, que corresponde al limo y la arcilla, son materiales que pasan la Malla No. 200 (abertura 0.074 mm), dado que la abertura es muy pequeña, para hacer pasar el suelo se auxilia mediante el empleo de un lubricante (agua), además con este método los grumos de suelo se deshacen y se determina el tamaño real de las partículas sólidas del suelo.

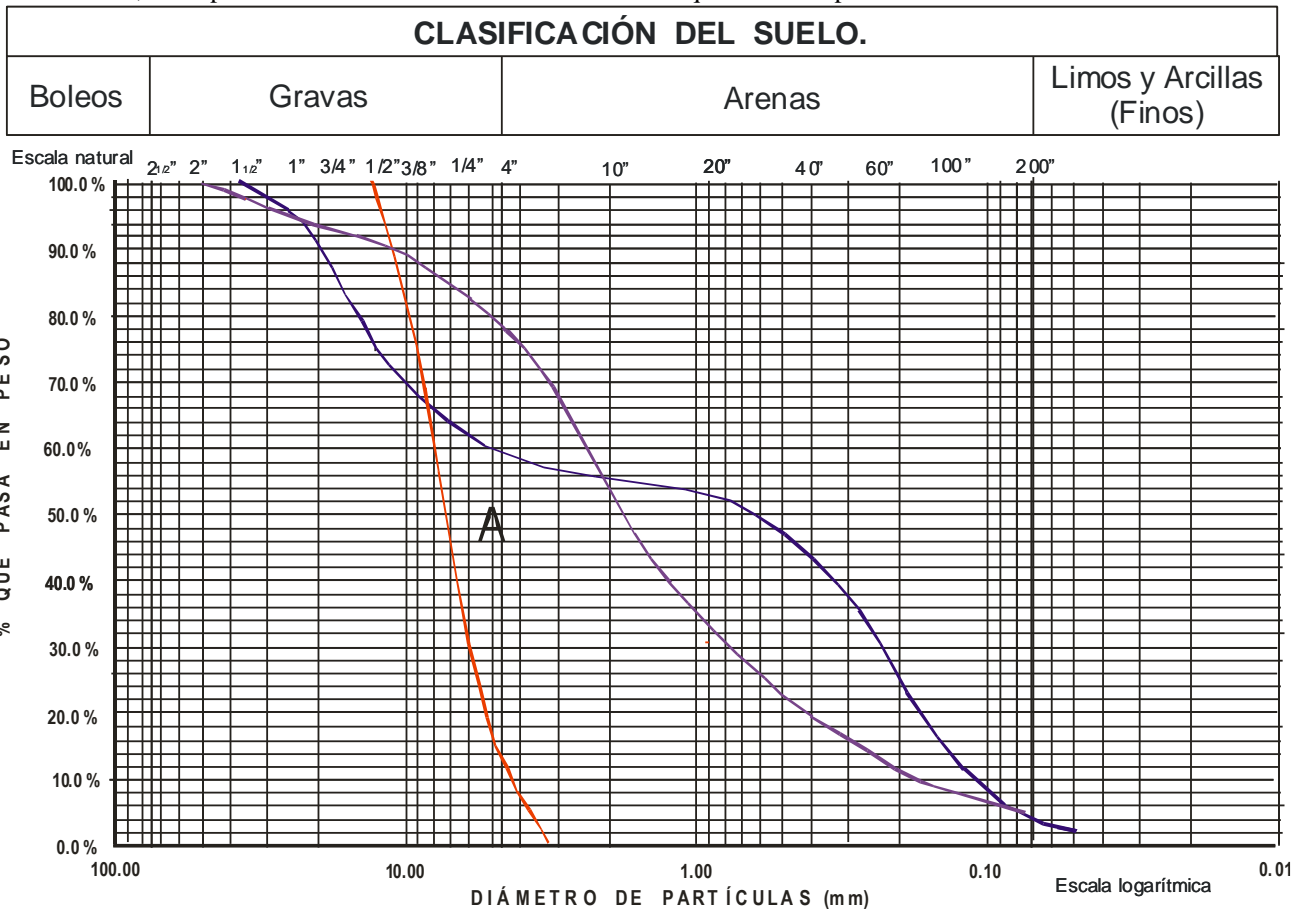
El suelo se hace pasar a través de una serie de mallas y se determina el peso retenido en cada una de ellas, se calcula el porcentaje retenido y el porcentaje que pasa en cada tamiz.



El resultado de los análisis granulométricos se representa por medio de una gráfica que es una curva de distribución de tamaño de partículas, la que se dibuja empleando un sistema de eje ortogonales, en donde se indica en el eje horizontal el diámetro de las partículas sólidas (normalmente se expresa en escala logarítmica) y el eje vertical el porcentaje que pasa medido con respecto al total (es escala natural), como se muestra en la figura:



Del análisis de la gráfica se puede predecir cierto comportamiento mecánico del suelo, como en el caso A, donde se tiene un suelo uniforme, el cual presenta un rango de tamaños muy limitado, puede decirse que casi todas las partículas sólidas del suelo tienen el mismo tamaño, se establece preliminarmente que dejan varios huecos entre sus partículas, en cambio el suelo B puede verse que presenta de todos tamaños de las partículas sólidas, en donde los huecos dejados con las partículas grandes es ocupado con las partículas más pequeñas. El suelo C corresponde a un suelo compuesto, constituido por partículas grandes, ausencia de partículas mediana y partículas pequeñas. En algunas ocasiones este ensayo se utiliza para predecir el movimiento del agua a través del suelo (permeabilidad), en la predecir si el suelo es susceptible a la acción de las heladas, se emplea además de establecer las características que debe cumplir un material de filtro.



También se determinan los porcentajes de grava, arena, limo y partículas de arcilla que presenta el suelo, se obtienen a través de la distribución granulométrica.

De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUSC) se establecen los siguientes tamaños:

Boleos	Mayor de 3"	$x > 76.2 \text{ mm}$
Gravas	Entre 3" y la Malla No. 4 (0.48 mm)	$4.80 \text{ mm} < x < 76.2 \text{ mm}$
Arena	Entre la Malla No. 4 (0.048 mm) y la Malla No. 200 (0.074 mm)	$0.074 \text{ mm} < x < 4.8 \text{ mm}$
Limo y arcilla	Menor de la Malla No 200 (0.074 mm)	$x < 0.074 \text{ mm}$

También de las curvas granulométricas se puede obtener los términos:

D_{10} : diámetro efectivo, que corresponde al 10% de los finos
 D_{60} : diámetro que corresponde al 60% de los finos
 C_U : coeficiente de uniformidad

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

D_{30} : diámetro efectivo, que corresponde al 30% de los finos
 C_C : coeficiente de curvatura

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

Suelo será bien graduado si cumple lo siguiente y en caso contrario será mal graduado

grava	$C_U > 4$	$1 < C_C < 3$
arena	$C_U > 6$	$1 < C_C < 3$

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

3.1 EQUIPO

- Recipiente para secar la muestra de suelo
- Vaso de aluminio e 1L
- Báscula electrónica
- Horno eléctrico con temperatura constante entre $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$:
- Brocha
- Cepillo de cerdas
- Piseta
- Fólder
- Agitador mecánico
- Vernier
- Juego de mallas o tamices de las siguientes medidas o aberturas:

+ 3"	+ No. 4
+ 2"	+ No. 10
+ 1½"	+ No. 20
+ 1"	+ No. 40
+ ¾"	+ No. 60
+ ½"	+ No. 100



**TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

Código: FESA PAL IIC CS Fecha de emisión: 2025.02.05

Revisión: 05

+ 3/8"

+ No. 200

+ 1/4"

Incluir la tapa y el fondo

3.2 MATERIAL

- Varias muestras de suelo de diferentes tamaños, características y colores.

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

- 1.- Tomar una muestra representativa del suelo, en caso de ser muy grande obtenerla mediante cuarteo.
- 2.- Secar la muestra de suelo durante 18 h a 24 h, en el horno a una temperatura comprendida entre $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 3.- Pesar la muestra de suelo ya seca, obteniendo W_m .
- 4.- Se le agrega agua al recipiente y dejar reposar por un período mínimo de 12 h con el fin de que se deshagan los grumos de suelo.
- 5.- Lavar la muestra de suelo, con una varilla hacer 8 en el suelo y dejar reposa el suelo, posteriormente vaciar con cuidado sobre la malla No. 200, repetir este paso hasta que será agua sea cristalina.
- 6.- Secar nuevamente la muestra de suelo retenida en la malla No. 200.
- 7.- Limpiar y acomodar las mallas de suelo con abertura decreciente.
- 8.- Proceder a cribar el suelo, auxiliándose con el agitador mecánico.
- 9.- Pesar la parte de suelo retenida en cada una de las mallas (W_r).
- 10.- Calcular el porcentaje de suelo retenido en cada una de las mallas de suelo ($\% \text{ retenido} = W_r/W_m \times 100$).
- 11.- Determinar el porcentaje de suelo que pasa cada de las mallas, se puede auxiliar mediante el empleo de la siguiente tabla ($100\% - \% \text{ retenido}$).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Operador: _____ Muestra : _____ Profundidad: _____

Peso de la muestra seca + recipiente (g)	
Peso del recipiente (g)	
Peso de la muestra seca (g)	

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% DE SUELO RETENIDO	% DE SUELO QUE PASA
3"	76.2			
2"	50.8			
1 1/2"	38.1			
1"	25.4			
3/4"	19.05			
1/2"	12.7			
3/8"	9.525			

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% DE SUELO RETENIDO	% DE SUELO QUE PASA
1/4"	6.35			
No. 4	4.76			
No. 10	2.00			
No. 20	0.84			
No. 40	0.42			
No. 60	0.25			
No. 100	0.149			
No. 200	0.074			
Charola				

% de gravas	
% de arena	
% de material fino	

12. Trazar la curva granulométrica del material ensayado, empleando una gráfica semilogarítmica, en donde el eje horizontal corresponda al tamaño de las partículas que se encuentre en escala logarítmica y el eje vertical indique el porcentaje que pasa, en escala natural, siguiendo un formato como el que se indica en la siguiente hoja.
13. Determinar de la gráfica los valores de D_{10} , D_{30} y D_{60} , que corresponde al tamaño del 10%, 30% y 60% de las partículas.
14. Calcular el Coeficiente de uniformidad (C_u) y el Coeficiente de Curvatura (C_c) mediante el empleo de las siguientes expresiones:

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

15. Determinar el porcentaje de suelo de cada una de las fracciones que lo constituyen, gravas, arena y material fino.
 - Gravas \Rightarrow material retenido en la Malla No. 4
 - Arena \Rightarrow Material que pasa la Malla No 4 y es retenido en la Malla No. 200
 - Material fino \Rightarrow Material que pasa la Malla No. 200.
16. Definir si se trata de un suelo bien o mal graduado.

Suelo bien graduado

grava	$C_u > 4$	$1 < C_c < 3$
arena	$C_u > 6$	$1 < C_c < 3$



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

Código: FESA PAL IIC CS Fecha de emisión: 2025.02.05

Revisión: 05

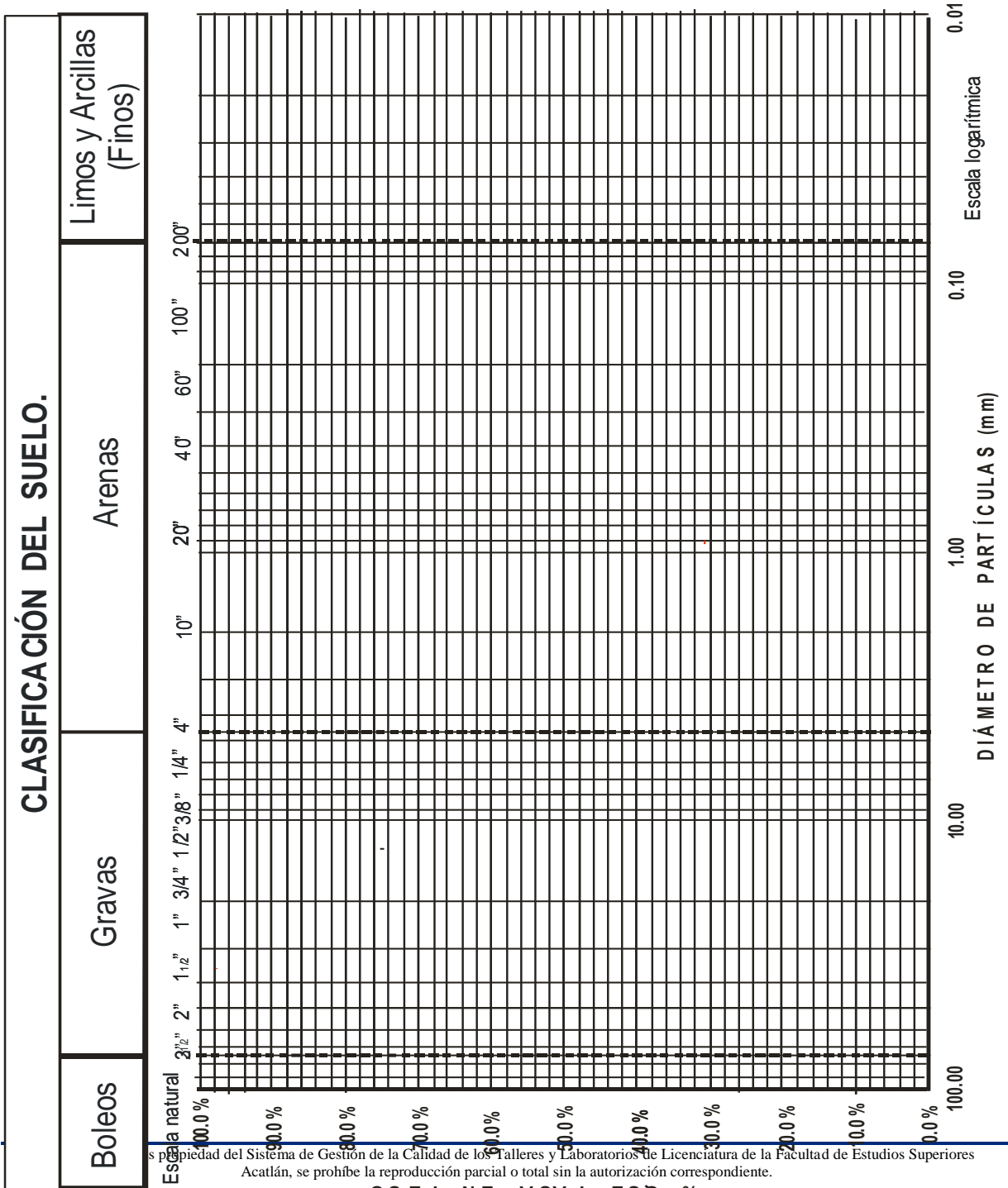
5. RESULTADOS

6. CONCLUSIONES

Las obtenidas durante la ejecución de la sesión práctica y con los resultados obtenidos del suelo o los suelos ensayados.

OBSERVACIONES

- Durante la ejecución de la sesión práctica se pueden observar directamente el tamaño de las partículas sólidas que los constituyen, así como la forma de las partículas.
- Las partículas menores de la Malla No. 200, cuya abertura es de 0.074 mm se determina en forma indirecta a través del procedimiento del densímetro o hidrómetro.
- La sesión práctica es muy similar a la realizada en el Laboratorio de Resistencia de Materiales.
- La abertura de la malla puede variar de acuerdo al fabricante, pero el orden del tamaño es muy semejante.
- Indicar algunos comentarios generales del comportamiento mecánico e hidráulico de los suelos ensayados.



Propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

Código: FESA PAL IIC CS Fecha de emisión: 2025.02.05

Revisión: 05

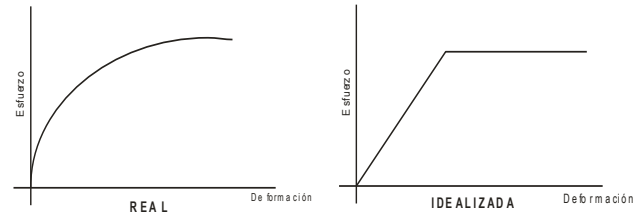
SESIÓN PRÁCTICA NO. 5 DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

1. OBJETIVO

El alumno aprenderá a determinar los límites líquido y plástico de una muestra de suelo fino y con los resultados obtenidos clasificará la muestra de acuerdo al criterio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos para que se pueda estimar el posible comportamiento mecánico, además comprenderá y realizará la prueba de contracción lineal.

2. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

Los límites de consistencia también se conocen como límites de plasticidad, para ello es necesario conocer el término plasticidad; analizando el comportamiento mecánico de una arcilla suave en su intervalo plástico, mediante la gráfica esfuerzo deformación mostrada en la figura.



La plasticidad es una propiedad circunstancial del suelo y no permanente, varía cuando cambia su contenido de humedad, se puede decir que un material es plástico cuando es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

La plasticidad se presenta básicamente en suelos finos de tipo arcilloso.

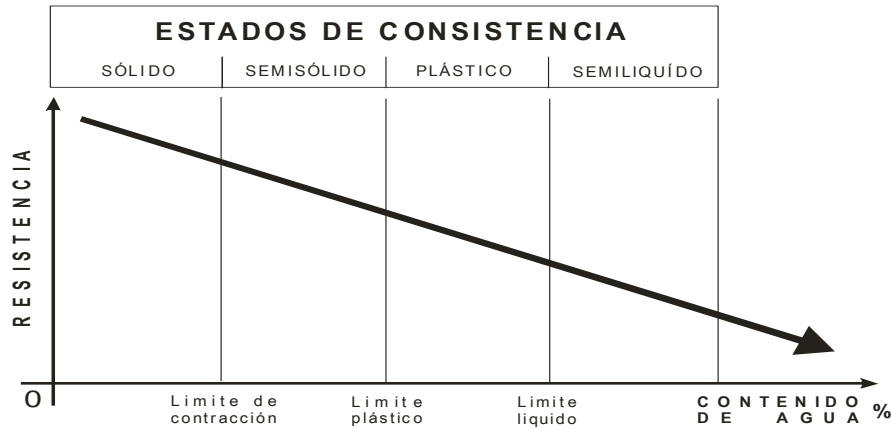
2.1 Estados de consistencia

Un suelo fino susceptible a ser plástico de acuerdo al contenido de agua que presente o puede estar ubicado en uno de los siguientes estados, como se aprecia están en función del contenido de agua que presenta:

	Estado	Características	Fronteras
$\Delta \omega$	sólido →	El volumen del suelo no cambia al secarse	límite de contracción
	semisólido →	Tiene apariencia de sólido pero disminuye su tamaño a secarse	
	plástico →	Se comporta plásticamente	límite plástico
	semilíquido →	Se comporta como fluido viscoso	límite líquido
	líquido	Presenta propiedades y apariencia de una suspensión	

Como se aprecia los límites corresponden a las fronteras de los estados de consistencia

A continuación se muestra una gráfica cualitativa de la resistencia del suelo con la variación del contenido de agua, de donde se observa que a mayor contenido de agua menor resistencia y en ella van implícitos los estados de consistencia:



GRÁFICA CONTENIDO DE AGUA VS RESISTENCIA

Límite líquido: es el contenido de agua de un suelo para el cual este tiene una resistencia al esfuerzo cortante de 25 g/cm^2 . Además es el contenido de agua con el cual un suelo se cierra en la Copa de Casagrande a los 25 golpes una longitud de $\frac{1}{2}$ " una ranura previamente realizada.

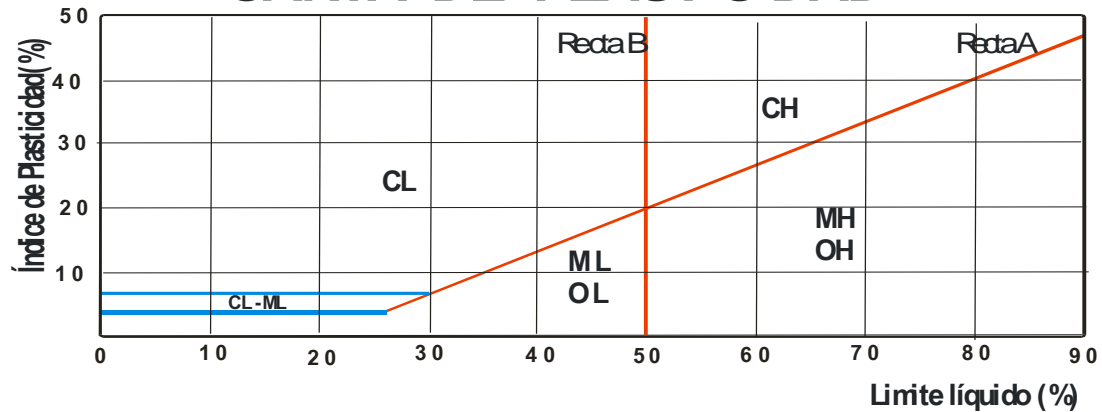
Límite plástico: es el contenido de agua según el cual el suelo comienza a perder sus propiedades de plasticidad para pasar a un estado semisólido. Es el contenido de agua en el cual un rollito de suelo de 3.2 cm de diámetro se agrieta y desmorona.

Límite de contracción: es el contenido de agua con el cual bajo el secado el volumen ya no cambia.

La diferencia del Límite líquido - Límite plástico se le denomina Índice de Plasticidad (I_p) y el cual corresponde al rango en el cual el suelo se comporta plásticamente.

Empleando el límite líquido (LL) y el índice de plasticidad (I_p) se emplea según el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS).

CARTA DE PLASTICIDAD



3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

3.1 EQUIPO

- Malla No. 40
- Copa de Casagrande
- Ranuradores plano y curvo
- Báscula electrónica con aproximación de 0.01 g.
- Espátula de abanico
- Espátula de hoja de acero flexible de 12 cm
- Frasco con tapa de aproximadamente 0.5 L de capacidad
- Piseta
- Cápsulas de Porcelana de aproximadamente 12 cm de diámetro
- Vidrios de reloj
- Cronómetro
- Placas de vidrio
- Alambre de 1/8" ó 3.2 mm de diámetro de comparación
- Horno eléctrico con temperatura constante entre 100 °C y 110 °C:
- Destornillador
- Vernier
- Molde para ensaye de contracción lineal de lámina galvanizada No. 16 de 10 cm x 2 cm x 2 cm (dimensiones interiores).



3.2 MATERIAL

- Varias muestras de suelo de preferencia secas o con el contenido de agua natural

- Grasa grafitada
- Agua

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

La sesión práctica se divide en las siguientes partes:

- 4.1 Preparación de las muestras
- 4.2 Calibración de la Copa de Casagrande
- 4.3 Determinación del Límite líquido
- 4.4 Determinación del Límite plástico
- 4.5 Clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
- 4.6 Determinación de la Contracción lineal

4.1 Preparación de las muestras

Previamente a la realización de la prueba se deberá preparar el suelo a ensayar, con el siguiente procedimiento:

1. La muestra de suelo se pasará a través de la Malla No. 40 y se empleará únicamente la fracción de suelo que pasa la Malla, de preferencia una cantidad aproximada de 200 g.
2. Remoldear perfectamente el material eliminando todos los grumos y repartiendo la humedad en forma uniforme, hasta obtener una pasta suave y espesa, empleando la espátula.
3. Dividir la muestra de suelo en por lo menos seis fracciones
4. Agrégales a cada fracción de suelo diferentes cantidades de agua y remoldearla para que se reparta uniformemente.
5. Guardar los frascos de vidrio durante un periodo mínimo de 24 h.

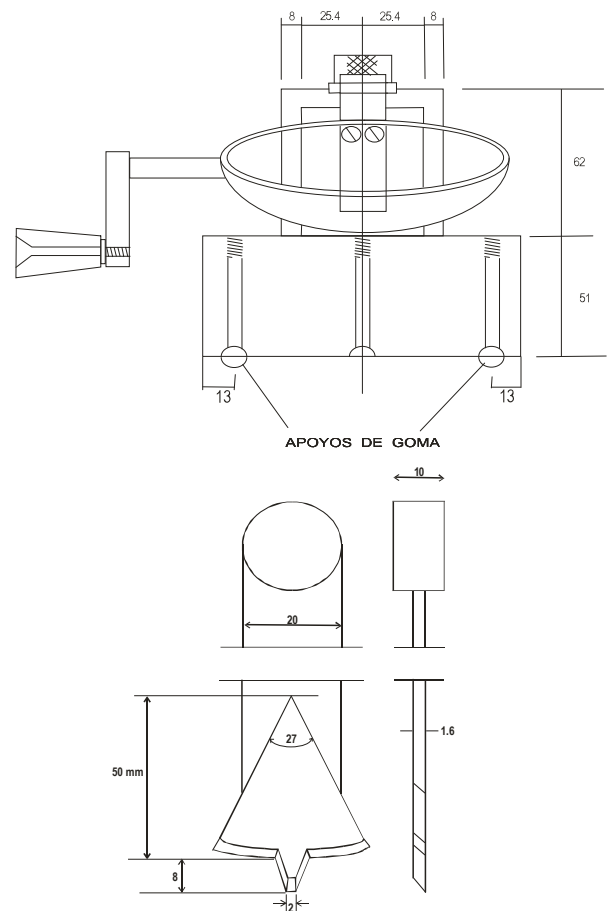
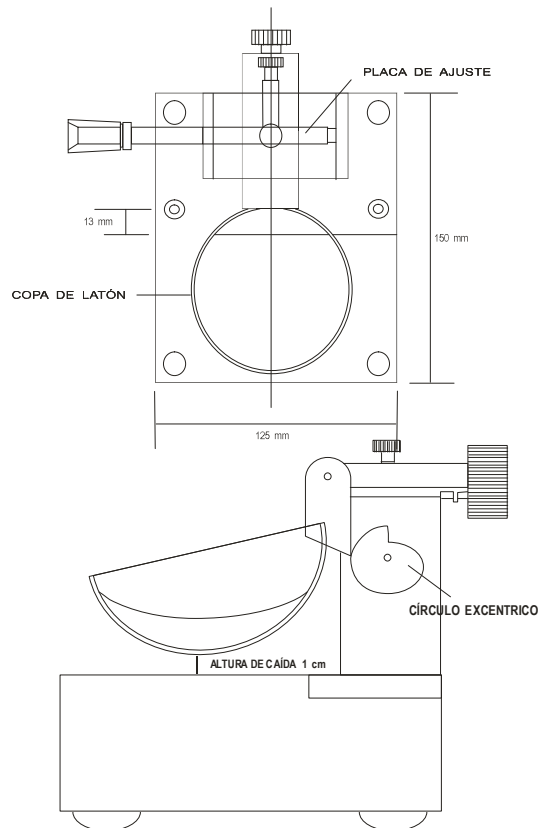




4.2 Calibración de la Copa de Casagrande

Antes de iniciar la sesión práctica se deberá calibrar la Copa de Casagrande, la que consisten en lo siguiente:

1. Verificar que la altura de caída, entre la Copa y la Base deberá ser de 1 cm exactamente. Dicha distancia se mide entre el centro de la huella de la Copa y la base de Caucho duro o micarta, mediante el empleo de la parte posterior del ranurador.



Ranurador



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

Código: FESA PAL IIC CS Fecha de emisión: 2025.02.05

Revisión: 05

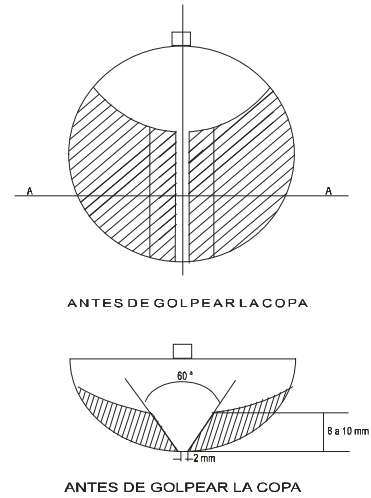
Características de la copa de casagrande



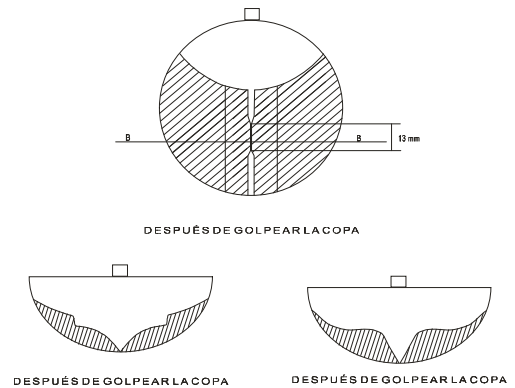
2. Se gira la manivela hasta que la Copa se eleve hasta la mayor altura y en forma tangente se verifica la distancia de caída, se fijan los tornillos de la parte superior y posterior de la Copa.
3. Se calibra el giro de la manivela a razón de 120 revoluciones por minuto, es decir 2 golpes por segundo.

4.3 Determinación del Límite líquido

1. Tomar la muestra de suelo que se guardó en los frascos que tiene menor humedad y se coloca en la Copa de Casagrande aproximadamente 30 g y se mezcla hasta que quede homogénea mediante el empleo de la espátula.
2. Se reparte el suelo sin aplicar una presión excesiva, del centro hacia los lados dejando la superficie superior plana, evitando cualquier talud.
3. Se realiza la ranura en la parte central de la Copa, colocando inicialmente el ranurador en la parte superior de la Copa y girándolo en forma normal a la superficie.



4. Se gira la manivela a razón de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes necesario para que los bordes inferiores de la ranura se cierren una longitud de 1/2" o 13 mm.



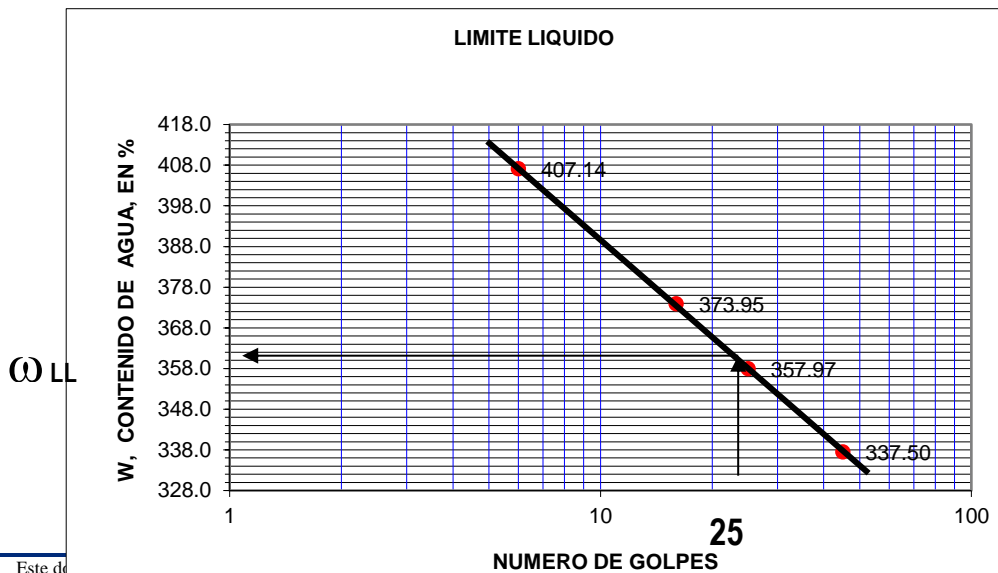
5. Se toma una porción de suelo de la parte central, se coloca en el vidrio de reloj y se le determina su contenido de humedad, mediante el procedimiento establecido en la sesión práctica No. 1.



6. Se repiten los pasos anteriores con cada una de las muestras de suelo ya preparadas o bien se le agrega una pequeña cantidad de agua y se remoldea perfectamente. El número de golpes deberá estar comprendido entre 50 y 5 golpes y cada determinación tener como diferencia del orden de 10 golpes
7. Como resultado de las determinaciones anteriores se tienen el número de golpes y las humedades:

Número de golpes	Cápsula No.	Peso de la cápsula	Cápsula + suelo húmedo	Cápsula + suelo seco	Peso del agua	Peso del suelo seco	ω
		g	g	g	g	g	%

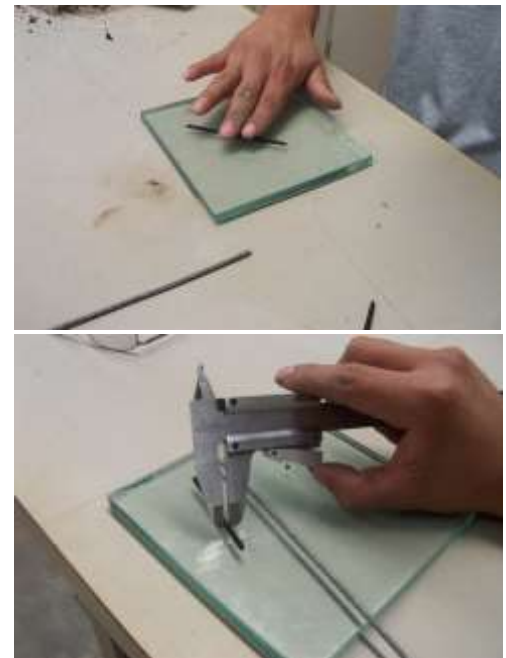
8. Se procede a trazar la curva de flujo con los valores anteriores; para ello se empleara un papel semilogarítmico, colocando en el eje de las abscisas en escala logarítmica el Número de golpes y en el eje de las ordenadas en escala natural las humedades. Se Traza una recta que pase por los puntos, de tal manera que al menos tres de ellos estén en línea recta.



9. La humedad correspondiente a los 25 golpes es la humedad que corresponde al límite líquido.

4.4 Determinación del Límite plástico

1. Se toman aproximadamente 25 g de suelo de los que se habían preparado previamente en los frascos y cuya humedad sea la menor y remoldear perfectamente empleando la espátula.
2. Se realiza un rollito de suelo con la palma de la mano y la placa de vidrio hasta que alcance un diámetro de $1/8''$ (3.2 mm).
3. En caso de que al alcanzar el diámetro de 3.2 mm el rollito de suelo no se agrieta y desmorona en forma simultánea, la humedad es superior a la de límite plástico. Se junta de nuevo el suelo y manipula con la mano para que pueda perder humedad y la distribución sea uniforme.
4. Se realiza de nuevo el rollito de suelo hasta que al alcanzar los 3.2 mm de diámetro se agriete y desmorone en ese momento.
5. En seguida se coloca en un vidrio de reloj y se determina su contenido de humedad, con el procedimiento ya establecido en la Práctica No. 1.
6. Se repite el procedimiento con otra porción igual de suelo hasta determinar su humedad.
7. El límite plástico corresponde al promedio de las humedades anteriores.



Cápsula No.	Peso de la cápsula	Cápsula + suelo húmedo	Cápsula + suelo seco	Peso del agua	Peso del suelo seco	w
	g	g	g	g	g	%

4.5 Clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

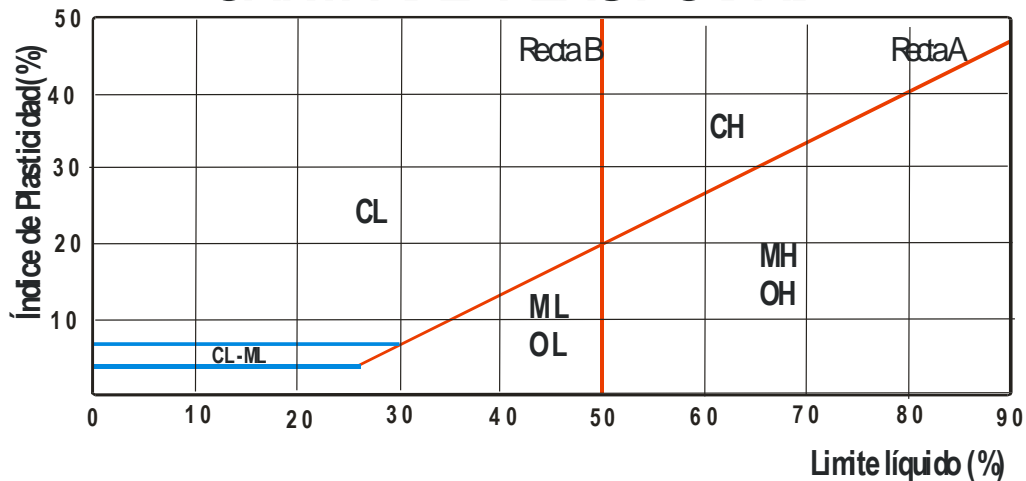
Se procede a clasificar el suelo ensayado de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, determinando inicialmente el Índice Plástico y colocando los resultados en la Carta de Plasticidad.

1. Inicialmente se determinará el Índice de Plasticidad, el cual se define como la diferencia aritmética entre el límite líquido y el límite plástico.

$$I_p = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

2. Se ubica el suelo en la Carta de Plasticidad, y se establece el tipo de suelo ensayado.

CARTA DE PLASTICIDAD

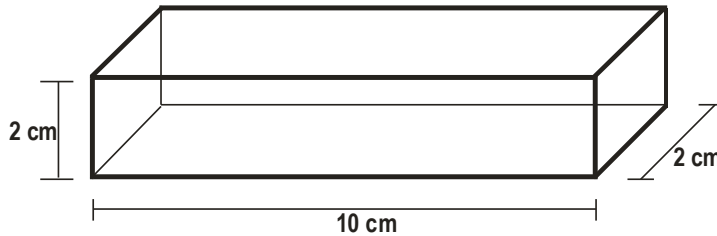


4.6 Determinación de la Contracción lineal

El límite de contracción es la disminución en las dimensiones de la masa de un suelo, expresada en porcentaje.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

1. Inicialmente se determinarán las dimensiones del molde, empleando el Vernier.



2. Se le coloca al recipiente una pequeña capa de grasa grafitada en todo el interior para evitar que al colocar el suelo se adhiera al recipiente durante el secado.
3. Se prepara el material, el cual deberá tener la humedad cercana al límite líquido, como se indicó en el inciso III de esta sesión práctica, el cual podrá ser del material sobrante del límite líquido.
4. Se rellena el recipiente en tres capas; después de cada etapa se golpea secamente contra una superficie plana para expulsar el aire durante su colocación.



5. Enrasar el material empleando una espátula, eliminado todo el sobrante.
6. Dejarlo secar a la intemperie hasta que cambie de color y posteriormente secarlo en el horno durante un periodo de 18 h a 24 h.
7. Una vez secada en el horno y se extraer del recipiente, posteriormente se mide la longitud de la barra de suelo.
8. Se determina la contracción lineal mediante el empleo de la siguiente expresión:

$$L_{\text{inicial}} - L_{\text{final}}$$

$$C.L. = \frac{\text{-----}}{L \text{ inicial}} \times 100$$

dónde:

- C.L. : contracción lineal, en porcentaje
L inicial : longitud inicial de la barra en estado húmedo,
longitud del recipiente, en cm
L final : longitud final de la barra en estado seco, en cm

5. RESULTADOS

Para poder llevar un control más adecuado de la sesión práctica, se puede emplear los formatos mostrados.

Se deberá presentar un informe de la sesión práctica donde se incluirán los resultados obtenidos lo que incluye:

- Resultados de humedades y número de golpes
- Gráfica de la curva de flujo
- Límite líquido
- Límite plástico
- Índice de Plasticidad
- Clasificación de acuerdo al SUCS
- Contracción lineal

Completar los resultados indicando en qué estado de consistencia se encuentra el suelo con la humedad natural indicando el comportamiento que presenta.

La sesión práctica generalmente se realiza en equipo, debido al número de equipos de laboratorio, por lo que resulta conveniente anexar los resultados de los otros equipos y analizar los resultados obtenidos y hacer una comparación de ellos.

6. CONCLUSIONES

Las obtenidas durante la ejecución de la sesión práctica y con los resultados obtenidos del suelo ensayado.

OBSERVACIONES

Tomar una parte de la muestra previamente a la realización de la prueba y determinar su contenido de agua, después ya definidos los límites de plasticidad, definir en qué estado de consistencia se encuentra el suelo y que comportamiento debe tener.

Existe un método alternativo para la determinación del límite líquido mediante el empleo del cono sueco, el que se describe en el anexo.

ANEXO

LÍMITES DE CONSISTENCIA EMPLEANDO EL MÉTODO DEL CONO INGLÉS

1. OBJETIVO

El alumno determinará los límites líquido y plástico de una muestra de suelo fino mediante el método del cono inglés.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Métodos alternativos al propuesto por Casagrande para determinar los límites de plasticidad se ha desarrollado en Europa y Asia, principalmente. Se trata de procedimientos que consisten en dejar caer libremente un cono de medidas estándar sobre una muestra de suelo que llena por completo una cápsula metálica y analizar la distancia de penetración del cono en el material.

En el caso del dispositivo propuesto por la Institución Británica de Estándares, se trata de un cono con un vértice de 30° y una masa total de 80 g, se suspende justo sobre la muestra de suelo. El cono se deja caer libremente sobre el suelo por un periodo de 5 segundos. El contenido de agua correspondiente a 20 mm de penetración del cono en la masa de suelo define el **límite líquido**.

El método es menos propenso a errores provenientes del operador y de procedimiento, además de que se considera que elimina los efectos dinámicos propios de la prueba con la Copa de Casagrande.

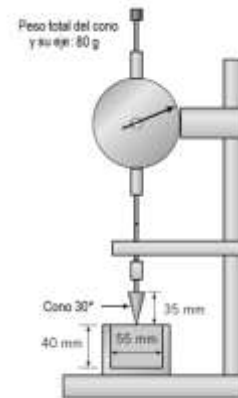
Asimismo, se ha encontrado que en la gráfica contenido de agua (%) vs penetración del cono (mm), el **límite plástico** se encuentra prolongando la línea que mejor se ajuste a los puntos que se obtienen en la prueba, hasta una penetración con valor de 2 mm (es decir, se extrapola para un valor de 2 mm).

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

3.1 EQUIPO

- Malla No. 40

- Dispositivo del cono de penetración para determinación de límite líquido, el cual consta de una base plana metálica con un soporte rígido de acero y brazo sujetador, cono de 30° de vértice y 35 mm de altura; eje del cono, carátula con graduación milimétrica para medir la distancia de penetración, y sistema de sujeción y liberación del cono.
- Cápsula metálica de 55 mm de diámetro por 40 mm de altura.
- Báscula electrónica con aproximación de 0.01 g.
- Espátula de abanico
- Espátula de hoja de acero flexible
- Piseta
- Cápsulas de Porcelana
- Vidrios de reloj
- Horno eléctrico con temperatura constante entre 100 °C y 110 °C
- Placas de vidrio
- Frascos de vidrio con tapa de aproximadamente 0.5 L.



3.2 MATERIAL

- Muestras de suelo natural de aproximadamente 500 g.
- Agua destilada

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

I. Preparación de las muestras

1. Secar la muestra al aire y pasarla a través de la Malla No. 40. Se requiere una cantidad aproximada de entre 300 y 500 g. Para suelos arcillosos en los que se considere que todas sus partículas son menores a los 0.425 mm, se podrá omitir este paso.
2. Remoldear perfectamente el material eliminando todos los grumos y repartiendo la humedad en forma uniforme, hasta obtener una pasta suave y espesa, empleando la espátula y agregando la cantidad de agua que sea necesaria.

3. Guardar la muestra en un frasco de vidrio cerrado durante un periodo mínimo de 24 horas.

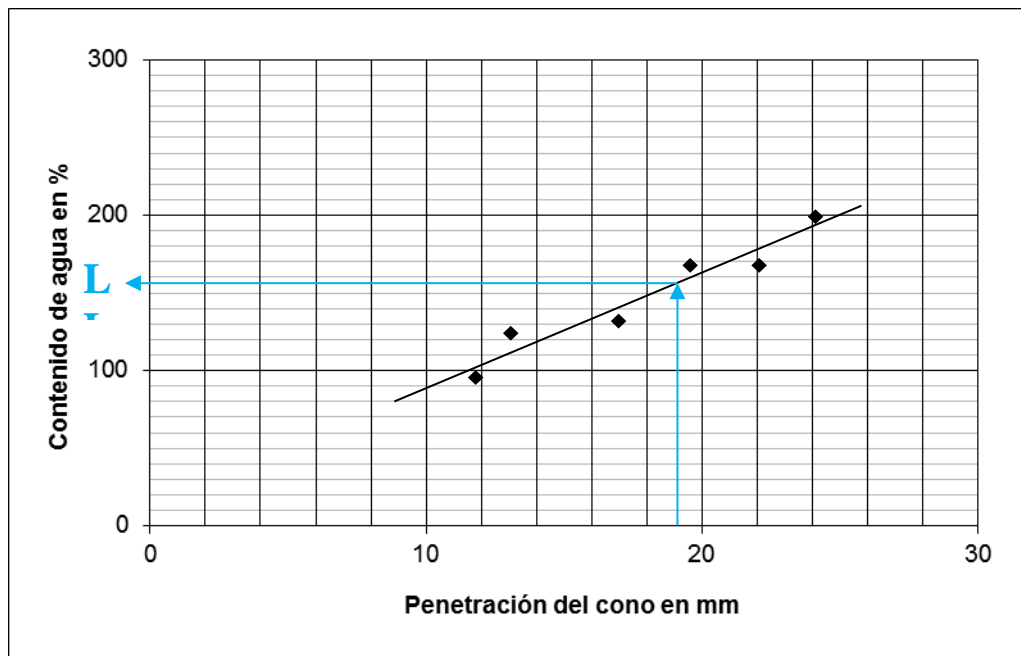
II. Determinación del Límite líquido

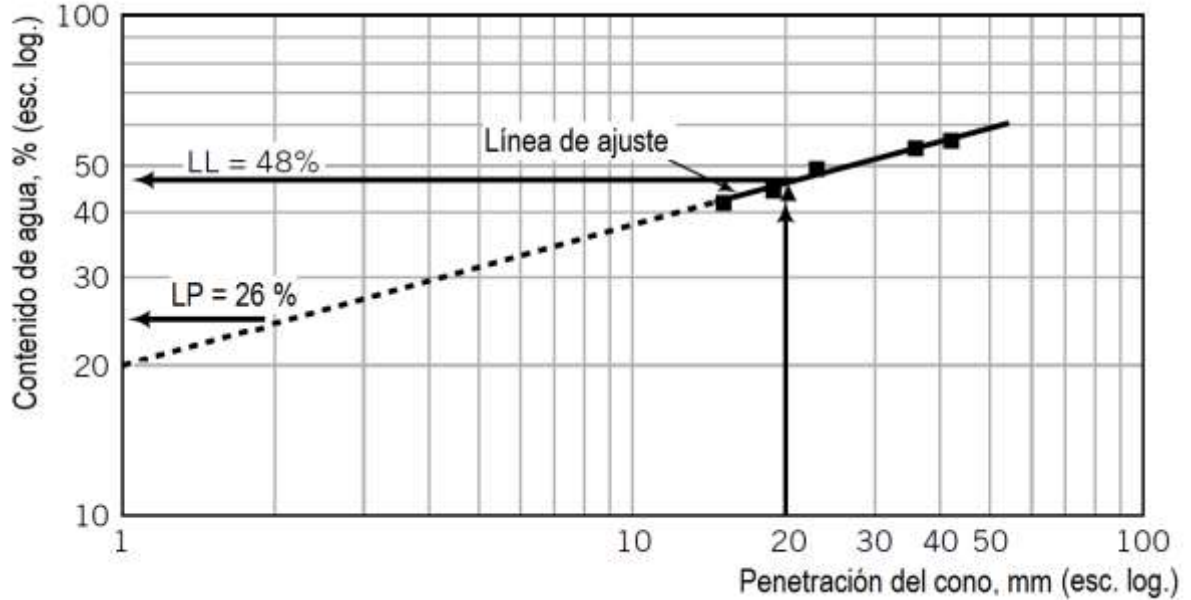
1. Tomar una porción de la muestra de suelo, de aproximadamente 300 g, preparada conforme a la sección anterior y colocarla en una placa de vidrio.
2. Mezclar con las espátulas hasta uniformizar la pasta, agregando si es necesario agua destilada.
3. Llenar la cápsula metálica de prueba con la pasta de suelo, de ser posible en capas, golpeando sobre la mesa de trabajo para eliminar las burbujas de aire atrapadas durante la operación.
4. Enrasar la superficie del suelo en la cápsula y limpiar el exceso de material hasta obtener una superficie suave y uniforme. Colocar la cápsula centrada sobre la base del dispositivo.
5. Deslizar el brazo del cono a través del soporte hasta que la punta éste coincida exactamente con la superficie del suelo de la cápsula de prueba.
6. Llevar el perno del micrómetro hasta que coincida con el extremo del eje del cono y tomar la lectura con precisión de 0.1 mm, o bien, llevar la lectura de la carátula a cero por medio del tornillo del equipo.
7. Accionar el mecanismo de liberación del cono durante 5 segundos teniendo cuidado de no mover el cuerpo del dispositivo.
8. Asegurar el cono y deslizar el vástago del micrómetro de carátula hasta que nuevamente contacte el extremo del eje del cono. Determine la diferencia de lecturas antes y después de la prueba y anótela como distancia de penetración del cono.
9. Retirar el cono y limpiarlo cuidadosamente. Agregar una pequeña porción adicional de suelo a la cápsula que permita llenarlo y enrasarlo nuevamente.
10. Repetir los pasos 5, 6, 7 y 8 verificando que la altura de penetración del cono no varíe en más de 0.5 mm en dos pruebas sucesivas, o bien, en 1.0 mm en tres pruebas sucesivas.
11. Retirar una porción de suelo de aproximadamente 10 g de la zona que traspasó el cono y determinar su contenido de agua.
12. Repetir el proceso anterior al menos 3 veces desde la condición más seca a la más húmeda, agregando agua entre cada una hasta obtener valores de penetración del cono entre 15 mm y 25 mm aproximadamente
13. Graficar los resultados obtenidos con los contenidos de agua en las abscisas y las distancias de penetración del cono en las ordenadas, en escala natural, aunque también se admite las escalas semilogarítmica y doble logarítmica.

14. Dibujar la curva que más se ajuste a los puntos graficados. El contenido de agua correspondiente al límite líquido será el que corresponda a una penetración del cono de 20 mm.

5. RESULTADOS

Prueba N°	Cápsula N°	Penetración del cono (d)	Peso cápsula + suelo húmedo	Peso cápsula + suelo seco	Peso del agua	Peso de la cápsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua (w)
—	—	mm	g	g	g	g	G	(%)
1								
2								
3								
4								
5								
6								





Para poder llevar un control más adecuado de la sesión práctica, se sugiere emplear los formatos mostrados.

Se deberá presentar un informe de la sesión práctica donde se incluirán los resultados obtenidos lo que incluye:

- Resultados de humedades y penetración del cono
- Gráfica de la curva de ajuste en escala lineal
- Límite líquido
- Límite plástico (por el método de Casagrande)
- Índice de Plasticidad
- Clasificación de acuerdo al SUCS

La sesión práctica generalmente se realiza en equipo, debido al número de equipos de laboratorio, por lo que resulta conveniente anexar los resultados de los otros equipos y analizar los resultados obtenidos y hacer una comparación de ellos.

6. CONCLUSIONES

Las obtenidas durante la ejecución de la sesión práctica y con los resultados obtenidos del suelo ensayado.



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

Código: FESA PAL IIC CS Fecha de emisión: 2025.02.05

Revisión: 05

OBSERVACIONES

Tomar una parte de la muestra previamente a la realización de la prueba y determinar su contenido de agua, después ya definidos los límites de plasticidad, definir en qué estado de consistencia se encuentra el suelo y que comportamiento debe tener.

7. FUENTES DE CONSULTA

- BSi, British Standard Institution, BS 1377-2:1990 Methods of test for Soils for civil engineering purposes. Part 2: Classification tests.
- BRAJA, M. Das (2008) Advanced Soil Mechanics. 3rd Edition. Ed. Taylor & Francis. New York.
- BUDHU, M. (2011) Soil Mechanics and Foundations. 3rd Edition. Ed. John Wiley & Sons, Inc.
- LEROUEIL, Serge, LE BIHAN, Jean-Pierre. (1998) Liquid limits and fall cones. Canadian Geotechnical Journal.
- MENDOZA L., Manuel J. (1990) Determinación del límite líquido de suelos con el cono Sueco. Memorias de la XV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. San Luis Potosí, S. L. P. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C.
- WHITLOW, Roy. (2001) Mecánica de suelos. Ed. C.E.C.S.A. México.

SESIÓN PRÁCTICA NO. 6

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS Y SU IDENTIFICACIÓN VISUAL Y AL TACTO EN CAMPO

1. OBJETIVO

El alumno conocerá y aplicará los procedimientos prácticos para poder identificar y clasificar los suelos en campo en forma rápida, general y sesión práctica, sin la realización de ensayos en el laboratorio, empleando el criterio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

En la sesión práctica No. 4, se han indicado algunos procedimientos para determinar el tamaño de las partículas sólidas de los suelos, principalmente mediante el empleo de un juego de mallas, además se indica su distribución granulométrica para establecer su uniformidad.

De igual manera se indicó en la sesión práctica No. 5, correspondiente a la determinación de los límites de consistencia; se analizó el comportamiento de los suelos finos con la variación del contenido de humedad.

La clasificación de los suelos se basa en el criterio del Sistema Unificado de clasificación de Suelos (SUCS), que toman en cuenta el tamaño de las partículas sólidas y los límites de consistencia; lo cual es básicamente dado por:

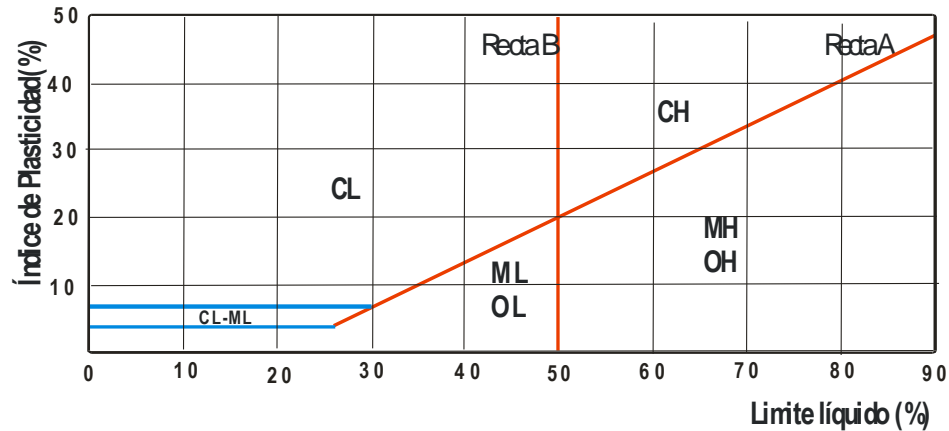
Malla No. 200 (0.074 mm)			
Suelo grueso ← Si se retiene más del 50 % del material		Suelo fino → Pasa más del 50 % del material	
Malla No. 4 (4.8 mm)		Limo - Arcilla	
Gravas	Arenas	Limo de baja plasticidad Limo de alta plasticidad Arcilla de baja plasticidad Arcilla de alta plasticidad Orgánicos	
Más del 50 % de la fracción gruesa queda retenida en la malla No. 4	Si más del 50 % de la fracción gruesa pasa la malla No. 4		

La parte gruesa de los suelos a su vez se clasifican basa en la siguiente tabla:

GRAVAS				ARENA			
Gravas con pocos finos		Gravas con finos		Arena con pocos finos		Arena con finos	
GW	GP	GM	GC	SW	SP	SM	SC
$C_u > 4$ $1 < C_c < 3$	No cumple lo de GW	Con índice de plasticidad debajo de la línea A, $I_p < 4$	Con índice de plasticidad por arriba de la línea A, e $I_p > 7$	$C_u > 6$ $1 < C_c < 3$	No cumple lo de SW	Con índice de plasticidad debajo de la línea A, $I_p < 4$	Con índice de plasticidad por arriba de la línea A, e $I_p > 7$

Se indica que suelos presentan pocos finos, cuando estos no influyen en su comportamiento mecánico e hidráulico y es menor al 5%; por otro lado cuando los finos son mayores del 12% se establece que es con finos.

Con respecto a los suelos finos, su clasificación se basa en los límites de consistencia y se emplea la Carta de Plasticidad, para ello es necesario conocer el límite líquido (LL) y el índice de plasticidad que es igual $I_p = LL - LP$, en donde LP es el límite de plasticidad.



CARTA DE PLASTICIDAD

En la Carta de Plasticidad se tienen los siguientes suelos:

Arcillas y limos límite líquido < 50%			Arcillas y limos con límite líquido > 50%			Suelos altamente orgánicos
ML	CL	OL	MH	CH	OH	Pt
Limos inorgánicos, polvo de roca limos arcillosos ligeramente plástico	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad. Arcilla con gravas, arcillas arenosas, arcilla limosas, arcillas pobres	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas	Arcillas orgánicas de mediana a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad	Turba y otros suelos altamente orgánicos

La Carta de Plasticidad se establece en función de las propiedades de plasticidad y el auxilio sirve para entender el comportamiento mecánico e hidráulico del suelo.

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

3.1 EQUIPO

- Lona
- Parrilla Eléctrica

3.2 MATERIAL

Varias muestras de suelo de preferencia de diferentes tipos de suelos.

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

La sesión práctica se divide en las siguientes partes:

- 4.1 Clasificación de suelos con partículas gruesas
- 4.2 Clasificación de suelos finos
 - Dilatancia o reacción al agitado
 - Resistencia en estado seco
 - Tenacidad
 - Color y olor

4.1 Clasificación de suelos con partículas gruesas

1. Tomar una muestra de suelo representativa, en caso de ser muy grande se puede obtener por medio de cuarteo.
2. Colocar la muestra de suelo sobre una lona o en una superficie plana y entenderlo.
3. Separar las partículas de suelo en forma manual; las gravas presentan un tamaño mayor de ½ cm que corresponde aproximadamente a la Malla No. 4; los suelos finos se identifican por ser partículas muy pequeñas que no son observables en forma individual a simple vista que corresponde a la Malla No. 200.
4. Establecer en forma aproximada el porcentaje en peso de cada fracción de suelo, observar la distribución de partículas y definir su graduación, en forma visual y definir su clasificación de acuerdo a la Tabla 1

Tabla 1

Características	Denominación común	Grupo
Amplio rango de tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Gravas bien graduadas con mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos	GW
Predominio de un tamaño o un rango de tamaños con ausencia de algunos tamaños intermedios	Gravas mal graduadas, mezcla de gravas y arena con poco o nada de finos	GP
Fracción fina no plástica (ML como se indica en puntos más adelante de la practica)	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo, mal graduados	GM
Fracción fina plástica (CL ver siguientes puntos de la practica)	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla, mal graduados	GC
Amplio rango de partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	Arena bien graduadas, arena con gravas con poco o nada de finos	SW
Predominio de un tamaño o un rango de tamaños en ausencia de algunos tamaños intermedios	Arenas mal graduadas, arena con gravas y poco o nada de finos	SP

Fracción fina no plástica (ML, ver puntos siguientes para identificarlo)	Arena limosas, mezclas de grava y arena	SM
Fracción fina plástica (CL, ver siguientes puntos para identificarlos)	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	SC

5. Las partículas de suelo fino se clasificarán de acuerdo a lo indicado en los siguientes incisos.

4.2 Clasificación de suelos finos

Los suelos con partículas finas se pueden clasificar e identificar empleando las siguientes pruebas:

- **Dilatancia o reacción al agitado**

1. Tomar una pequeña porción de suelo fino, eliminando en forma manual las partículas gruesas de preferencia de tamaño menores de 0.4 mm, del orden de 10 cm³.
2. Se toma la muestra en la palma de la mano y se le agregan unas gotas de agua y se amasa hasta forma una consistencia suave pero no pegajosa, en caso de verse agregado agua en exceso se extiende en la mano y se permite que se pierda por evaporación; hasta formar una masilla de suelo.
3. Se sujeta la masilla de suelo con la palma de la mano, apretándola ligeramente, y se sacude enérgicamente mediante un golpeo horizontal contra la otra mano, para generar la salida del agua hacia la superficie de la masilla de suelo.
4. La salida del agua se muestra presentando una superficie lustrosa, como de hígado de res, y si se presiona con los dedos ligeramente hace que el agua desaparezca, esta es una reacción que presentan los limos y no reacciona cuando se trata de arcilla. A mayor cantidad de arcilla la reacción desaparece como se indica en la Tabla 2, mostrada más adelante.





TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

Código: FESA PAL IIC CS Fecha de emisión: 2025.02.05

Revisión: 05

• **Resistencia en estado seco**

1. De igual manera que la prueba anterior se forma una masilla de suelo de consistencia suave pero no pegajosa en la palma de la mano y posteriormente se moldea una pequeña esfera o cubo que puede tener entre 1 cm a 2 cm de diámetro o lado.
2. Se deja secar perfectamente, para lo cual se emplea la parrilla eléctrica, cuidando que no se calcine, hasta que pierda toda su humedad.
3. Posteriormente con el dedo índice y pulgar se rompe, estimando la dificultad que presenta a romperse el cubo fabricado como nula, ligera, media alta y muy alta.
4. En base a los resultados se clasificará al suelo siguiendo la Tabla 2, un fragmento de arcilla puede romperse solo con un gran esfuerzo, en cambio un limo se rompe fácilmente.



- **Tenacidad**

1. Se hace una masilla de suelo con una consistencia suave, como se indicó en las dos pruebas anteriores.
2. Se forma un rollito de suelo de 3 mm de diámetro, con las palmas de la mano, se realiza esta operación hasta que pierda el agua en exceso, y que se tenga una humedad cercana al límite plástico.
3. Posteriormente se juntan las fracciones del rollito y se amasan ligeramente con los dedos hasta que la masilla de desmorone.
4. Se estima la resistencia que ponga la masilla al remoldeo, así como el tiempo que tarde en desmoronarse, definiéndose como débil, quebradiza, media y tenaz.
5. Una arcilla muy plástica permite formar los rollitos con suficiente resistencia para soportar su propio peso y los limos rara vez permite formar los cilindros sin romperse notando una notable falta de resistencia a la tensión. Se puede establecer el tipo de suelo de acuerdo con los resultados obtenidos y comparados con los mostrados en la Tabla 2.



Tabla 2

Nombre típico del suelo	Dilatancia	Resistencia en estado seco	Tenacidad
Limo arenoso	Rápida	de ninguna a muy baja	de débil a baja
Limo	rápida	de muy baja a baja	de débil a baja
Limo arcilloso	de rápida a lenta	de baja a media	media
Arcilla arenosa	de lenta a ninguna	de baja a alta	media
Arcilla limosa	de lenta a ninguna	de media a alta	media
Arcilla	Ninguna	de alta a muy alta	alta
Limo orgánico	lenta	de baja a media	de débil a baja
Arcilla orgánica	Ninguna	de media a muy alta	alta

- **Color y olor**

Resulta importante conocer el color de la muestra de suelo para poder identificar un cambio de material o algún otro estrato. Por otro lado los tonos oscuros son generalmente indicativos de suelos con materia orgánica, mientras que los de colores claros son suelos de tipo inorgánicos; se indicará el color observado de cada una de las muestras ensayadas.

Los olores desagradables se presentan normalmente en los suelos de origen orgánicos y es muy intenso en suelos en estado húmedo y tiende a desaparecer el olor a medida que presentan calentamiento. En los suelos de tipo inorgánicos en general no presentan malos olores.

5. RESULTADOS

Con los resultados obtenidos se establecerá de qué tipo de suelo se trata cada una de las muestras de suelo analizadas empleando para ello la siguiente tabla

Es importante anexar y conocer la clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, de acuerdo a la tabla que se anexa en la siguiente hoja.

6. CONCLUSIONES

Las obtenidas durante la ejecución de la sesión práctica y con los resultados obtenidos de los suelos ensayados.



TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

Código: FESA PAL IIC CS Fecha de emisión: 2025.02.05

Revisión: 05

CLASIFICACIÓN VISUAL DEL SUELO

Alumno _____

Proyecto _____

Sondeo No. : _____

Fecha: _____

Muestra	Profundidad	% de Gravas	% de Arena	% de Mat. fino	Dilatancia	Tenacidad	Resistencia Edo. seco	Observaciones	Clasificación SUCS

SESIÓN PRÁCTICA NO. 7 DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD

1. OBJETIVO

El alumno conocerá el procedimiento general para la determinación del coeficiente de permeabilidad de un suelo granular y los parámetros que influyen en ella.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

A mediados del siglo XIX Henry Darcy realizando una serie de ensayos estableció y empleando un dispositivo como el mostrado en la figura anexa, que el flujo de agua a través de los suelo está regida, con la siguiente ecuación:

$$Q = k i A$$

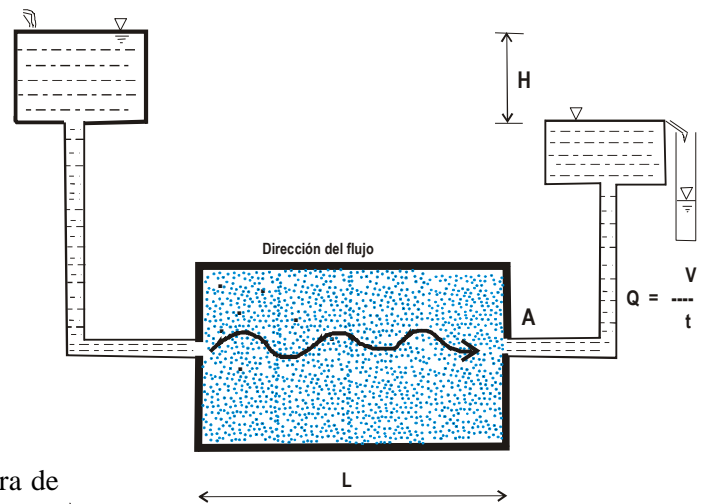
En donde:

Q : gasto que pasa a través del suelo

k : coeficiente de permeabilidad

i : gradiente hidráulico, $i = H / L$

A : área de la sección transversal de la muestra de suelo



La fórmula únicamente es válida para el caso de tener flujo laminar, el cual es función del tamaño de las partículas sólidas, de la relación de vacíos y entre otros de la viscosidad.

De la ecuación de continuidad:

$$Q = v A$$

$$Q = k i A$$

se tiene que:

$$v = k i$$

En donde:

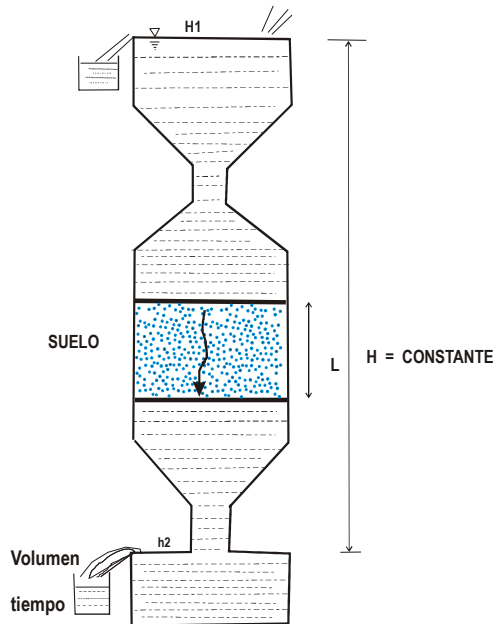
V : velocidad del flujo

I : gradiente hidráulico.

De donde podemos deducir del gradiente hidráulico es adimensional, por lo que las unidades de k son unidades de velocidad, y corresponde a la velocidad con que pasa el agua a través del suelo cuando el gradiente hidráulico es unitario.

Para determinar la permeabilidad de un suelo existen diferentes procedimientos:

En el laboratorio se tiene el permémetro de carga constante y el permémetro de carga variable y en el campo se puede determinar realizando el ensaye directamente.



En el permémetro de carga constante, la carga hidráulica, h_1 , se mantiene constante, durante el tiempo que dura el ensaye; en este tipo de ensaye se determina el volumen de agua que atraviesa la muestra de suelo y el tiempo, para poder obtener de esa manera el gasto.

El coeficiente de permeabilidad se obtiene de empleando la siguiente expresión:

$$K = \frac{V L}{t H A}$$

en donde:

- K : coeficiente de permeabilidad
- V : volumen de agua que pasa a través de la muestra de suelo
- L : longitud de la muestra de suelo
- t : tiempo requerido para que pase el volumen de agua
- H : altura entre las cargas hidráulicas h_1 y h_2
- A : área transversal de la muestra de suelo

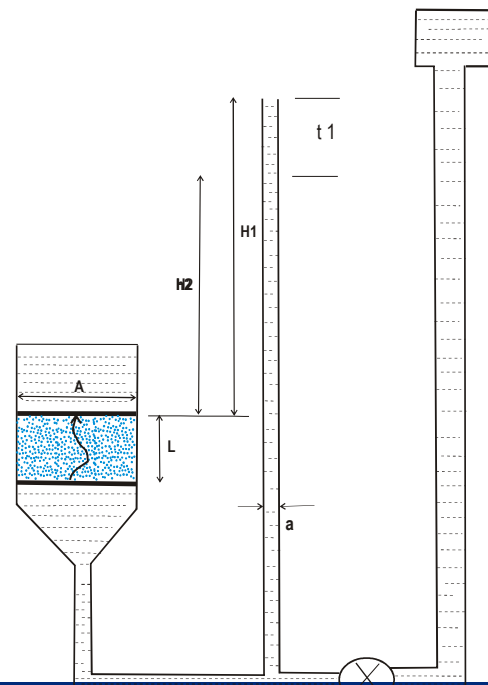
También existe el permémetro de carga variable, en este caso la carga hidráulica cambia con respecto al tiempo, inicialmente se tiene una carga hidráulica h_1 , al paso de tiempo la carga hidráulica será h_2 .

La expresión para estimar el coeficiente de permeabilidad es la siguiente

$$k = \frac{a L}{A t_1} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

siendo:

- k : coeficiente de permeabilidad
- a : área transversal del tubo alimentador
- L : longitud de la muestra de suelo
- A : área transversal de la muestra
- h_1 : altura inicial
- h_2 : altura final
- t_1 : tiempo que se necesita para bajar de h_1 a h_2



3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

3.1 EQUIPO

- Aparato de permeabilidad
- Permeámetro
- Flexómetro
- Termómetro
- Vernier
- Báscula
- Pisón



3.2 MATERIAL

- Muestras de suelo granular
- Papel filtro
- Agua



4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

La sesión práctica es conveniente realizarla en diferentes tipos de suelo granular y efectuarla en grupo donde se tengan varios participantes, con el siguiente procedimiento:

1. Conocer el recipiente que se empleará como permámetro y determinar su peso.



2. Obtener las dimensiones del perméametro, diámetro interior y altura.



3. Colocar el suelo dentro del perméametro, de tal manera que se aplique un esfuerzo tal que se obtenga la compactación que presenta en su estado natural. Para lo cual se puede emplear un pequeño pisón.
4. Pesar el recipiente con el suelo y determinar el peso del suelo que se introdujo en el perméametro.
5. Instalar el perméametro y saturar la muestra de suelo.
6. Determinar h , que corresponde a la carga hidráulica
7. Hacer pasar el agua a través del perméametro, estimando el volumen (Q) que fluyo y el tiempo que requirió para pasar (t).

8. Calcular el coeficiente de permeabilidad del suelo mediante el empleo de la siguiente expresión:

$$k = \frac{aL}{A t_1} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

9. Determinar la temperatura del agua que fluye.
10. Corregir la permeabilidad obtenida debido a la viscosidad que es función de la temperatura, empleando los valores de la siguiente tabla.

Viscosidades del agua entre 10 °C y 30 °C y las relaciones $\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$

GRADOS	η_T	$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$
10 °C	1.3077	1.30119
11 °C	1.2713	1.26497
12 °C	1.2363	1.23014
13 °C	1.2028	1.19681
14 °C	1.1709	1.16507
15 °C	1.1404	1.13472
16 °C	1.1111	1.10557
17 °C	1.0828	1.07741
18 °C	1.0559	1.05064
19 °C	1.0299	1.02477
20 °C	1.0050	1.00000
20.2 °C	1.0000	0.99502
21 °C	0.9810	0.97611
22 °C	0.9579	0.98313
23 °C	0.9358	0.93114
24 °C	0.9142	0.90965
25 °C	0.8937	0.88925
26 °C	0.8737	0.86935
27 °C	0.8545	0.85024
28 °C	0.8360	0.83184
29 °C	0.8180	0.81397
30 °C	0.8007	0.79671

11. Encontrar la velocidad de descarga y la velocidad media real; para la determinación de la relación de vacíos estimar la densidad de sólidos del suelo ensayado.

5. RESULTADOS

Las obtenidas durante la ejecución de la sesión práctica y con los resultados obtenidos del suelo ensayado.

Comparar los resultados obtenidos durante la sesión práctica con los resultados de ensayos generales y rangos de permeabilidad de los materiales indicados en la siguiente tabla.

PROPIEDADES DE OSMOSIS		COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD									
		B U E N O					M A L O				
APLICACION EN TERRENO EN TUBOS Y SIQUES		Incluyen permeables de arena y grava					Terrenos impermeables de arcilla y diques				
TIPOS DE SUELOS		Grava limpia		Arenas limpias Arenas limpias y masas de grava			Arcillas muy finas, limas orgánicas e impurezas. Masas de arena, limo y arcilla. Masas de arcilla, diques, etc. estabilizados de arcilla, etc.			Suelos muy masas de arcilla homogéneas. Masas de arcilla homogéneas.	
DETERMINACION DIRECTA DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD		Prueba directa del suelo en su estado natural. Método de bombas de agua y se hace constante. Se requiere bastante experiencia.									
DETERMINACION INDIRECTA DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD		Método de carga variable. Se requiere mucha experiencia. Se requiere bastante experiencia.									
		PRUEBA DE CAPILARIDAD HORIZONTAL. Se requiere poca experiencia. Se requiere bastante experiencia.									

6. CONCLUSIONES

Las obtenidas durante la ejecución de la sesión práctica y con los resultados obtenidos del suelo ensayado.

OBSERVACIONES

La realización del ensayo se realiza en varias ocasiones con el mismo suelo y el resultado será el promedio.

La sesión práctica normalmente se realiza en equipo con la mitad o de todo el grupo

SESIÓN PRÁCTICA NO. 8

ENSAYE DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL EN SUELOS FINOS

1. OBJETIVO

El alumno conocerá el procedimiento para realizar el ensaye de consolidación unidimensional de una muestra inalterada de suelo fino de tipo arcilloso y participara directamente durante el ensaye, conocerá e interpretara las gráficas realizadas durante el ensaye.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

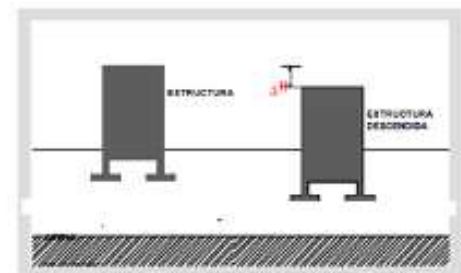
Para poder comprender la presente sesión práctica el alumno deberá entender los siguientes conceptos teóricos:

- Consolidación
- Modelo reológico de Terzaghi
- Permeabilidad
- Compresibilidad
- Relaciones volumétricas y gravimétricas

Un problema importante que se le presenta al ingeniero civil cuando trabajo con los suelos, es cuantificar la deformación que sufren al ser sometidos a cargas, ya que la deformación aumenta con el tiempo aun cuando la magnitud no varié.

El cambio de la deformación con el tiempo bajo un esfuerzo dado, no es una propiedad exclusiva de los suelos se presentan en todos los materiales, pero en la mayoría de ellos el tiempo durante el cual la deformación aumenta, es muy corto o la variación es muy pequeña, no así en los suelos donde ambas magnitudes, el tamaño de las deformaciones y el tiempo que tarda en efectuarse, son importantes para el trabajo el ingeniero civil.

Las deformaciones que sufre el agua contenida en el suelo y las propias de las partículas sólidas que constituyen al suelo, son muy pequeñas en comparación con las deformaciones de toda la masa, pudiéndose establecer como incompresibles; de tal manera que puede atribuirse a la deformación a la modificación de su estructura.

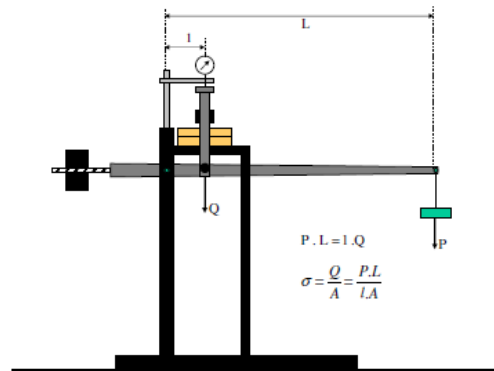


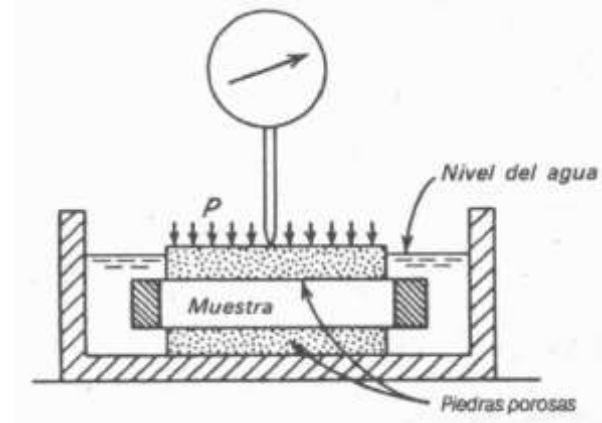


3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

3.1 EQUIPO

- Consolidómetro
- Flexómetro
- Deformímetro o micrómetro
- Equipo de carga
- Cronómetro
- Cazuela de consolidación
- Anillo de bronce, rígido
- Piedras porosas
- Placa metálica
- Balín
- - Equipo labrador de la muestra
- - Cuchillo
- - Espátula
- - Vernier
- - Arco de alambres con cuerda de acero inoxidable
- - Báscula electrónica
- - Vidrio de Reloj
- - Tijeras





3.2 MATERIAL

- Muestra de suelo de tipo inalterada
- Papel filtro
- Agua

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

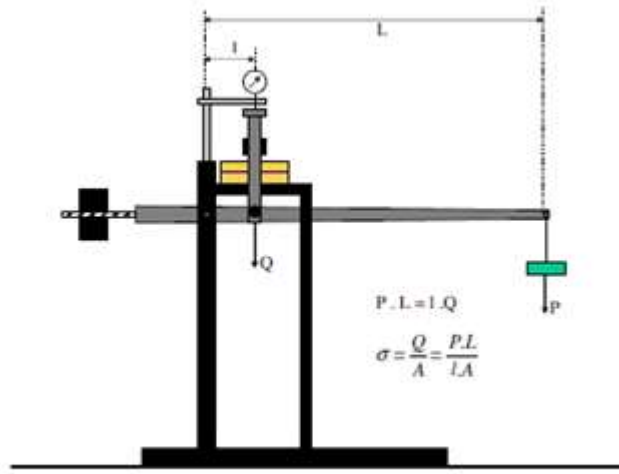
La sesión práctica la dividiremos en las siguientes partes:

- 4.1 Funcionamiento del consolidómetro y su calibración
- 4.2 Preparación de la muestra
- 4.3 Montaje de la muestra y ensaye
- 4.4 Resultados

4.1 Funcionamiento del consolidómetro y su calibración

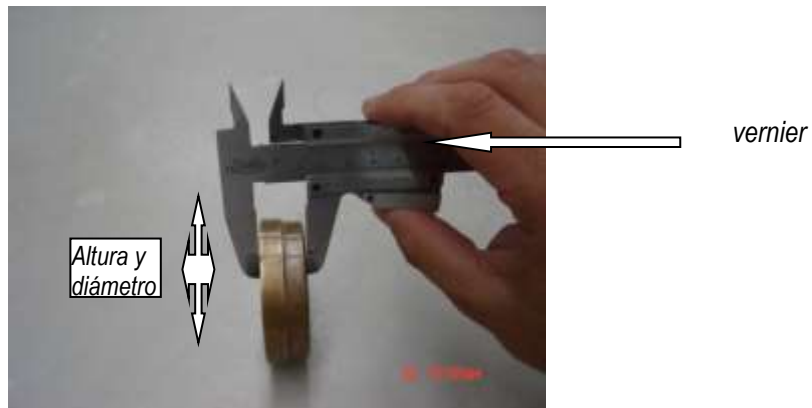
Previamente al inicio del ensaye de consolidación, se hará el reconocimiento del equipo, su funcionamiento y la calibración del mismo, mediante la siguiente secuela:

1. Se reconocerá el consolidómetro, observándose el mecanismo de aplicación de la carga,
2. Las cargas se aplican por medio de pesos colocados en una ménsula en el extremo de la viga de carga; para ello será necesario conocer el punto fijo, y los brazos de palanca, entre la carga aplicada y el punto fijo l y el punto y el punto de acción de la carga L.



Esquema de distribución de carga del consolidómetro

3. El peso de la ménsula de carga y la viga se balancean con el contrapeso existente en la parte posterior.
4. Se obtiene las dimensiones del anillo de consolidación, que son el diámetro, peso y altura, en él se colocará posteriormente la muestra de suelo.



5. Mediante el principio de momentos se obtiene la constante de aplicación de la carga.
6. Se coloca dentro de la cazuela de consolidación el anillo de consolidación, las dos piedras porosas y la placa metálica rígida, para posteriormente montarla dentro del consolidómetro.
7. Ajustar el deformímetro o micrómetro en un extremo del consolidómetro fijándolo en un punto que no sufra deformaciones y sobre el consolidómetro.



8. Colocar las pesas al consolidometro y tomar las deformaciones que presenta el propio aparato, las cuales serán posteriormente durante los ensayos serán restadas, ya que son deformaciones propias del aparato.
9. La secuencia de presiones aplicadas normalmente a los suelos son las siguientes, las que como se observan se incrementan en un 100%.

Presión (kg/cm²) 0.125 0.25 0.50 1.0 2.0 4.0 8.0

En el sentido inverso se procede con la descarga

4.2 Preparación de la muestra

La muestra de suelo que se colocará en el consolidometro será de tipo inalterado, previamente deberá ser extraída del tubo Shelby y estar protegida para no perder su contenido de humedad natural o ser una muestra cúbica inalterada protegida adecuadamente para no romper su estructura y la pérdida de agua.

1. Colocar la muestra de arcilla dentro del anillo de consolidación, el que se puede realizar mediante el empleo del torno labrador, que irá girando y con el cual que estará quitando del exterior todo el material sobrante, conforme se valla labrando se irá presionando para que la muestra hasta que sobresalga de la parte inferior del anillo.



2. Se retirará la parte de suelo que sobresalga del anillo, tanto la parte superior como la parte inferior, empleando para ello el arco de alambre y afinando cuidadosamente las superficies.



3. Obtener el peso de la muestra de suelo con el anillo, tratando la muestra cuidadosamente.



4. Tomar una porción de la muestra de suelo sobre del labrado y determinar su contenido de húmeda y su peso específico relativo de los sólidos (datos que serán necesarios para cálculos los resultados de la consolidación).
5. Colocar en las dos caras del suelo, superior e inferior, el papel filtro y posteriormente las piedras porosas, las que deben estar previamente saturadas (con objeto de que durante el ensaye el agua del suelo sea expulsada y queden retenidos todas las partículas sólidas).
6. Introducir dentro de la cazuela de consolidación la muestra de suelo.



4.3 Montaje de la muestra y ensaye

1. Colocar la cazuela de consolidación con la muestra de suelo en el consolidómetro y ajustarlo, de tal manera que quede centrado bajo el marco de carga.
2. Ponerle el balín de que será el elemento de transmisión de la carga en forma uniforme y ajustar la contrapesa con el fin de no transmitir ninguna carga a la muestra de suelo con el marco de carga.



3. Ajustar el micrómetro o deformímetro, que estará apoyado en un punto fijo y colocando en contacto con el marco de carga.
4. Colocar el primer incremento de carga, que provoque una presión a la muestra de suelo del orden de 0.125 kg/cm^2 , evitando cualquier impacto.
5. Al aplicar la carga en forma inmediata se deberán de tomar las lecturas del micrómetro a los siguientes tiempos:

Tiempo	10 s	20 s	30 s	1 min	2 min	4 min	8 min	15 min	30 min	45 min	1 h	2 h	4 h	8 h		
Lectura (mm)																

Los tiempos pueden variar de acuerdo al horario del laboratorio.

6. Se sugiere que la cazuela de consolidación este llena de agua, o se coloque alrededor de la pastilla de suelo un algodón húmedo para evitar que las deformaciones de la muestra de suelo sea por evaporación.
7. Trazar la curva de consolidación, y una vez que la curva sea prácticamente recta, que normalmente es un lapso de 24 h, es decir cuando ya se haya llevado a cabo toda la consolidación primaria de la muestra se pasará al siguiente paso.

PRUEBA DE CONSOLIDACION			
REGISTRO DE CARGA			
OBRA: _____			
SONDEO: _____	MUESTRA: _____	PROF.: _____	
FECHA: _____	APARATO No.: 1	PRUEBA No.: 0	
PRESION SOBRE LA PASTILLA =		1.000 Kg/cm ²	
INCREMENTO DE PRESION =		0.500 Kg/cm ²	

FECHA	HORA	TIEMPO seg	MICROM. mm
		0	19.002
		5	18.983
		30	18.979
		60	18.970
		120	18.953
		240	18.928
		480	18.888
		900	18.850
		1800	18.814
		3600	18.782
		5400	18.759
		7200	18.743
		14400	18.721
		25200	18.708
		36000	18.700
		86400	18.685

Deformación Total, en mm = 0.317

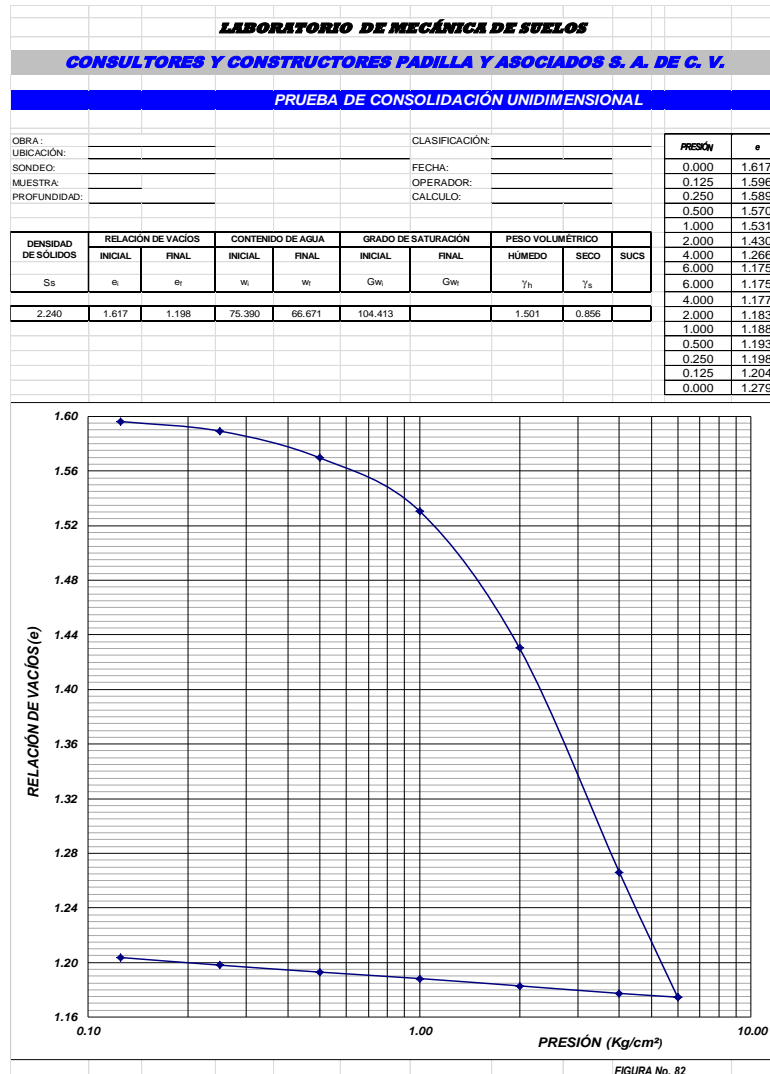
OBSERVACIONES:

8. Una vez que se hayan estabilizado las deformaciones de la muestra de suelo con la carga aplicada se pasará a colocarle la siguiente pesa, con una pesa de tal tamaño que la presión que aplique se incrementó en 100%, y se tomaran las lecturas con la misma secuencia indica en los incisos anteriores.
9. Se continuarán colocando las pesas hasta la última carga programada siguiendo la misma secuencia y posteriormente se procederá con la etapa de descarga, la que se realizará siguiendo en forma inversa la etapa de carga.
10. Se procederá a desmontar la muestra de suelo del consolidometro y se obtendrá el peso de la muestra consolidada con el anillo y posteriormente se secará en el horno hasta obtener su peso seco.

5. RESULTADOS

Como resultado del ensaye es el trazo de las curvas de consolidación (una por cada incremento de carga), la curva de compresibilidad (como resumen de la deformación del suelo), además en forma opcional se podrá determinar de coeficiente de compresibilidad (α_v), coeficiente de variación volumétrica (m_v), coeficiente de consolidación (C_v) y coeficiente de permeabilidad (k).

1. Con el uso de las relaciones volumétricas y gaviométricas se determinará la relación de vacíos de la muestra de suelo (e), considerando la humedad y densidad de sólidos, y con las deformaciones obtenidas con el deformímetro se calculan las relaciones de vacíos para cada carga aplicada.
2. Trazar la curva de compresibilidad, que contiene en el eje de las abscisas la presión en escala logarítmica y en el eje de las ordenadas la relación de vacíos, en escala natural.





TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

Código: FESA PAL IIC CS Fecha de emisión: 2025.02.05

Revisión: 05

3. De las curvas de consolidación se determinará el t_{50} y con el espesor de la muestra calcular el coeficiente de consolidación.
4. Estimar la presión de preconsolidación.

5. CONCLUSIONES

Las obtenidas durante la ejecución de la sesión práctica y con los resultados obtenidos del suelo ensayados, indicar el comportamiento que presentará el suelo bajo la aplicación de una carga. Indicar en donde se pueden emplear los resultados de los ensayos.

HISTORIAL DE CAMBIOS

Revisión	Sección	Descripción de la modificación	Fecha de la modificación
0	Todas	Nuevo	2013.10.24
1	Portada	Actualización de Responsable de Gestión de la Calidad	2016.08.19
2	Portada	Actualización del Representante de la Dirección.	2017.08.18
3	Portada	Actualización del Jefe de Sección.	2022.04.01
4	Formato	Por ampliación de alcance se renombra FESA PIC I01 por FESA PAL IIC CS.	2022.08.22
5	Portada	Actualización por cambio de administración.	2025.02.05

HISTORIAL DE REVISIONES

Fecha de revisión	Responsable de realizar la revisión	Próxima fecha de revisión
2015.01.12	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2016.01.12
2016.01.12	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2017.01.12
2016.08.19	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2017.08.19
2017.08.18	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2018.08.18
2018.08.20	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2019.08.20
2019.08.02	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2020.08.02
2020.08.02	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2021.08.03
2021.04.01	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2022.08.03
2022.04.01	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2023.04.04
2023.04.11	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2024.04.11
2024.02.16	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2025.02.10



TALLERES Y LABORATORIOS DE
LICENCIATURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELOS

Código: FESA PAL IIC CS Fecha de emisión: 2025.02.05

Revisión: 05

2025.02.05	Ing. Ricardo García Valdivia	2026.02.13
------------	------------------------------	------------