



# Manual de Prácticas de Laboratorio de Geotecnia

René Domínguez Peña  
Salvador Hernández Melgar  
Fernando Almanza Hernández  
Juan Alberto Juárez Sosa



AM  
710.5  
2.56

Materiales

UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
METROPOLITANA  
Casa abierta al tiempo  **Azcapotzalco**

**Manual de Prácticas**  
de **Laboratorio**  
de **Geotecnia**

## **Manual de Prácticas de Laboratorio de Geotecnia**

Este material fue aprobado para su publicación por el Consejo Editorial Divisional, el 23 de mayo del 2001. El contenido técnico es responsabilidad absoluta de los autores

# Manual de Prácticas de Laboratorio de Geotecnia

René Domínguez Peña  
Salvador Hernández Melgar  
Fernando Almanza Hernández  
Juan Alberto Juárez Sosa



2892796



División de Ciencias Básicas e Ingeniería  
Departamento de Materiales

## UAM-AZCAPOTZALCO

RECTOR

Dr. Adrián Gerardo de Garay Sánchez

SECRETARIA

Dra. Sylvie Jeanne Turpin Marion

COORDINADORA GENERAL DE DESARROLLO ACADÉMICO

Dra. Alicia Chacalo Hilu

COORDINADOR DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

Dr. Jorge Armando Morales Aceves

JEFE DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EDITORIALES

DCG Edgar Barbosa Álvarez Lerín

ISBN: 970-654-931-5

© UAM-Azcapotzalco

Rosal Domínguez Peña  
Salvador Hernández Melgar  
Fernando Almanza Hernández  
Juan Alberto Juárez Sosa

Corrección:

Marisela Juárez Capistrán

Ilustración de portada:

Consuelo Quiroz Reyes

Diseño de Portada:

Moderato Serrano Ramírez

Sección de producción

y distribución editoriales

Tel. 5318-9222 / 9223

Fax 5318-9222

Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Azcapotzalco

Av. San Pablo 180

Col. Reynosa Tamaulipas

Delegación Azcapotzalco

C.P. 02200

México, D.F.

*Manual de prácticas de laboratorio  
de geotecnia*

1a. edición, 2001

2a. reimpresión, 2006

Impreso en México

---

## ÍNDICE

Introducción	1
Práctica 1. Identificación de suelos finos en el campo	3
Práctica 2. Contenido de agua o humedad ( $w\%$ )	11
Práctica 3. Análisis granulométrico	15
Práctica 4. Peso específico relativo de sólidos o densidad de sólidos ( $S_s$ )	21
Práctica 5. Límites de consistencia o de Atterberg	31
Práctica 6. Consolidación unidimensional	41
Práctica 7. Permeabilidad	61
Práctica 8 y 9. Resistencia al esfuerzo cortante	69
Bibliografía	87

## INTRODUCCIÓN

Al final del siglo XX con el avance de la tecnología en el mundo, se descubrió lo que desde sus inicios se llamó Mecánica de Suelos, ciencia, que, de acuerdo con las teorías desarrolladas para comprenderla, colabora de una manera decisiva en la solución de problemas relacionados con el comportamiento de cualquier obra civil desplantada en la superficie de cualquier tipo de terreno.

Como siempre acontece, las ciencias de la tierra no son fáciles de asimilar si no sigue para su enseñanza una metodología bien elaborada y ensayada, además de contar con laboratorios adecuados y equipados con todos los adelantos modernos, con el fin principal de comprobar en forma práctica lo que se aprende en la teoría, así como encontrar con las pruebas de laboratorio necesarias los diversos parámetros de comportamiento y resistencia del suelo, que servirán para resolver una gran diversidad de problemas que se presentan en la práctica de la Ingeniería de cimentaciones, obras de tierra, elementos de contención, estabilidad de taludes, etc.

El laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Autónoma Metropolitana, pertenece al Departamento de Materiales de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería, y se ubica en el edificio "P" Planta Baja de la Unidad Azcapotzalco, en el se realizan las pruebas de Granulometría para separar el suelo en tamaños y conocer sus características como suelo grueso o fino. También se cuenta con hornos de altas temperaturas, para que el material húmedo o saturado pueda llegar a secarse, y de esta forma conocer su contenido de agua o definitivamente su comportamiento en estado seco.

Por otra parte, en el laboratorio se realizan los ensayos necesarios para encontrar el Peso Volumétrico del Suelo. El Peso Específico Relativo de Sólidos, la Permeabilidad del material, etc.

Al avanzar el alumno, y de acuerdo a la teoría, se podrán abordar temas tales como la Consolidación Unidimensional con flujo vertical, efectuándose en el laboratorio la prueba necesaria para comprender este proceso, así como el comportamiento de los suelos para resistir la aplicación de cualquier tipo de cargas al efectuarse las pruebas de Compresión Simple y Compresión Triaxial en sus diversas modalidades.

Los autores de este trabajo, después de largos años de dedicarse a la enseñanza de Mecánica de Suelos, Laboratorio y de la Geotécnia en general, consideramos que sería de mucha utilidad para los alumnos que estudian dicha disciplina, la elaboración de un Manual de Pruebas de Laboratorio, que cumpliera con el plan de estudios de la UEA de Geotécnia I de la carrera de Ingeniería Civil de la U.A.M. con el fin de facilitar el aprendizaje, además de servir de guía en el desarrollo de los ensayos, por lo que en su elaboración se pensó analizar cada prueba por separado, efectuándose los cálculos necesarios para dar solución a un problema práctico, que ayudará a comprender todo el trabajo desarrollado.

Esperando que este Manual sirva en el desarrollo del aprendizaje, tanto a alumnos como a docentes que se inician o trabajan en ésta importante rama de la ingeniería, solamente les deseamos el mejor de sus esfuerzos.

## PRÁCTICA 1

### IDENTIFICACIÓN DE SUELOS FINOS EN EL CAMPO

#### Introducción

Actualmente la Mecánica de Suelos es una ciencia con la que se trabaja en forma cotidiana, se aplica en la mayoría de las obras civiles por construir o en proceso de construcción, sirve también para conocer las características y el comportamiento de los suelos con respecto al peso de las estructuras, y de esta forma decidir de manera conveniente cuando se presente un problema geotécnico, en consecuencia para el Ingeniero Civil es de vital importancia que conozca el tipo de suelos con los que va a trabajar desde la primera visita que hace al sitio de la obra.

Para cumplir con éste objetivo y se tenga una idea preliminar de los materiales térreos que existen en el lugar, es necesario realizar sondeos superficiales, obteniendo muestras a las que se les hacen pruebas de campo, los resultados obtenidos se ubican en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) conociendo el nombre del suelo y sus características. Los especialistas en Geotécnia utilizan pruebas simples tales como, el cribado y la separación por sedimentación para los suelos gruesos, en tanto que para los suelos finos generalmente se utiliza la:

- a) *Dilatancia* (reacción al agitado).
- b) *Resistencia en estado seco* (características al rompimiento).
- c) *Tenacidad* (consistencia cerca del límite plástico).

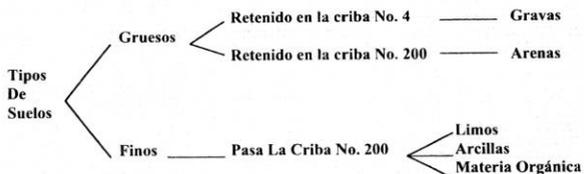
Una vez que se conocen los tres parámetros anteriores se define la posición que ocupa la muestra de suelo fino en el denominado S.U.C.S. En este sistema se valoran también las propiedades de los suelos, relacionándolos según su granulometría así como a su posible uso en la Ingeniería.

El sistema S.U.C.S. es descriptivo y fácil de adaptarse al suelo real, puede usarse en el campo y en el laboratorio. Probablemente la mayor ventaja es que un suelo se puede clasificar por medio de un examen visual y manual, por lo que no es necesario trasladarlo al Laboratorio para su análisis riguroso y posteriormente ubicarlo en la carta de plasticidad.

Generalmente los suelos con los que se trabaja en la práctica de la Mecánica de Suelos son cinco (*Gravas, arenas, arcillas, limos y materia orgánica*). Los cuales se han dividido en dos grupos:

a) Gruesos: *gravas y arenas*.

b) Finos: *arcillas, limos y materia orgánica*.



En la naturaleza, los suelos se encuentran en forma heterogénea, ello ocasiona que para fines de identificación se deban separar los suelos gruesos de los finos, para lograr lo anterior, la muestra por analizar deberá disgregarse totalmente además de efectuarse un cribado por mallas, con el fin de apreciar en forma conveniente la distribución y uniformidad de los diversos tamaños de partículas.

Para fines prácticos las gravas quedaran comprendidas entre la criba de 2 " (50.80 mm.) y la No. 4 (4.76 mm.) por lo tanto si se cuenta con la criba No. 4 debe depositarse en ella la muestra de material aceptando que aquel porcentaje que quede retenido en ésta malla se considera como grava y el material que pasa podrá ser arena, arcilla o limo.

Las arenas son partículas cuyos tamaños pueden variar, desde el material que pase la criba No. 4 al material retenido en la criba No. 200 (0.074 mm.). Si por alguna circunstancia no es posible separar las gravas de las arenas mediante la criba No. 4 habrá que realizar la identificación visualmente, utilizando el siguiente criterio: El material se deposita en un recipiente que sea transparente y que contenga agua, agitándolo inmediatamente para que se mezcle. Después se deja reposar para que las partículas se vayan sedimentando, todo en función de sus características y el peso de las mismas, (tamaño, forma, rugosidad, etc.). Separándose los suelos por efecto de la gravedad.

Con relación a la identificación de los suelos finos, se llevan a cabo varias pruebas manuales, según las características observadas en cada una de ellas, indican el suelo estudiado. Para realizar la identificación es necesario preparar una porción de material que pase por la criba No. 40 (0.420 mm.).

### Realización de las pruebas

#### Equipo (fig.-1)

- Cápsula de porcelana
- Espátula de cuchillo
- Pizeta
- Vidrios de reloj
- Horno de temperatura constante
- Criba N<sup>o</sup> 40



Figura 1

### Procedimiento

#### Desarrollo de las pruebas

##### Dilatancia (reacción al agitado)

La prueba consiste en depositar en la cápsula de porcelana una muestra de suelo ya preparado, que pasó la malla No. 40 agregando agua y remoldeando con la espátula hasta que presente una consistencia suave y no pegajosa, en seguida una porción de este suelo se lleva a la palma de la mano, realizándose un golpeteo enérgico contra la otra mano con movimientos horizontales, si se observa cuidadosamente el comportamiento que tiene el agua del suelo depositado en la mano éste puede ser, reacción rápida, semi-rápida y lenta reflejándose en la superficie del suelo, adquiriendo una apariencia brillante o lustrosa (fig. 2). En seguida se cierra la mano presionando con los dedos a fin de que el agua fluya, si se abre la mano instantáneamente se dará una cuenta que el lustre desaparece.

La facilidad o dificultad que presente el agua al fluir servirá para identificar el suelo, por ejemplo:

Las reacciones rápidas se presentan cuando el suelo se encuentra constituido de polvo de roca o arena muy fina, una reacción más lenta correspondería a un limo o limo arcilloso (reacción media). En cambio cuando no hay ninguna reacción y el agua o brillo no aparece en la superficie del suelo al agitarse indica que se trata de una arcilla de alta plasticidad o materia orgánica.

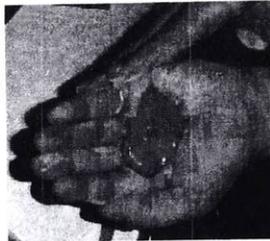


Figura 2

#### **Resistencia en estado seco (características al rompimiento)**

Un suelo al que ya se le agregó agua y previamente remoldeado con la mano se divide en pequeñas porciones hasta formar cubos de 0.5 cm. por lado, introduciéndolos al horno para su secado. Posteriormente se extraen del horno dejándolos enfriar, en seguida se sujeta el cubo con los dedos índice y pulgar aprisionándolo hasta provocar la ruptura. (fig. 3.)



Figura 3

Deberá observarse que si el suelo no presenta dificultad para la ruptura, puede ser una arena, certificando también por medio del tacto otras características que posea dicho suelo. Si presenta poca resistencia a la ruptura indica que se trata de un material limoso (fig. 4) y cuando la muestra opone mayor resistencia a la falla o desmoronamiento, podrá ser una arcilla inorgánica de plasticidad media o alta.



Figura 4

#### **Tenacidad ( consistencia cerca del límite plástico )**

A una porción del suelo en estudio ya húmedo y remoldeado en la cápsula de porcelana se le amasa para que vaya perdiendo humedad, una vez que ésta ha disminuido, se forma una esfera ; el cual se va rodando en la palma de la mano o sobre una superficie lisa hasta que forme un cilindro de 1/8" (3 mm), en estas condiciones, en el momento en que el rollo de suelo presente agrietamientos transversales en toda su longitud, se considera que el suelo ha llegado a su estado plástico (fig. 5). Dependiendo de la facilidad o dificultad para lograr lo expuesto con anterioridad se podrán identificar los suelos, por ejemplo:

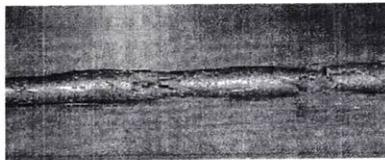


Figura 5

En las arenas ni siquiera es posible lograr la forma mencionada (cilindro). En los limos si es posible formar los cilindros, pero los agrietamientos se presentan inmediatamente.

En las arcillas, dependiendo de su plasticidad, los cilindros se agrietan después que el suelo ha perdido mucha humedad.

Existen algunos suelos que presentan características muy especiales tales como:

- a).- Turba (suelo orgánico)
- b).- Arcillas expansivas

Estos suelos son generalmente muy inestables, además de ser la causa principal de serios problemas al desplantar cualquier obra sobre ellos, el primero por su baja resistencia y compresibilidad y el segundo por su tendencia a aumentar o disminuir de volumen en presencia del agua.

### **Turba**

A este suelo se le puede identificar fácilmente por su comportamiento al realizarle las pruebas de:

**Dilatancia:** Se observa que en esta prueba, el agua sigue fluyendo aún cuando el material va perdiendo humedad.

**Tenacidad:** Prácticamente su tenacidad es nula, debido a que ni siquiera se puede formar el cilindro especificado.

**Color:** En presencia del agua es de color negro brillante y en estado seco da una apariencia de ceniza.

**Olor:** Presenta un olor desagradable.

**Resistencia:** El material presenta resistencia baja en condiciones naturales, puede ser hasta de  $0.1 \text{ t/m}^2$

### **Arcillas expansivas**

Se pueden conocer mediante un procedimiento muy simple, el cual consiste en depositar cierta cantidad de material por analizar en un recipiente transparente lleno de agua. Se puede observar que de acuerdo a su constitución físico-química incrementa su volumen instantáneamente, en cambio las arcillas comunes presentan únicamente disgregación de partículas.

Las arcillas expansivas son susceptibles de causar problemas a un número infinito de estructuras, principalmente a aquellas que transmiten al suelo de apoyo cargas relativamente bajas, por ejemplo: pequeñas casas habitación, canales, etc.

Los suelos finos también se pueden identificar y clasificar con relación al valor del límite líquido, por ejemplo: las arcillas o limos de baja plasticidad presentan un  $LL < 50$ , en tanto que los suelos altamente plásticos presentan un  $LL > 50$ . (ver tabla No.-1.)

SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de 10 milés del material por la milés N° 200	PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACIÓN EN LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA N° 40			TENDENCIA (CONSISTENCIA, ORGA- NISMO DEL LIMITE PLASTICO)	Código	DESCRIPCIÓN
	RESISTENCIA EN SECO (CARACTERÍSTICAS DE REACCIÓN AL AFRIÑO O TROMPAMIENTO)	DILATANCIA (REACCIÓN AL AFRIÑO)	REACCIÓN AL AFRIÑO			
LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	NULA A LIBERA	RÁPIDA A LENTA	NULA	ML	LIMOS INORGÁNICOS, POCO DE ROGA, LIMOS MIE- NOSOS O ARCILLOSOS LIBERAMENTE PLÁSTICOS.	
	MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	MEDIA	CL	ARCILLAS INORGÁNICAS DE BAJA A MEDIA PLUS- TICIDAD, ARCILLAS CON GRAVA, ARCILLAS AREN- SAS, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS PÓGRES.	
	LIBERA A MEDIA	LENTA	LIBERA	OL	LIMOS ORGÁNICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGA- NICAS DE BAJA PLASTICIDAD.	
LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	LIBERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIBERA A MEDIA	MH	LIMOS INORGÁNICOS, LIMOS MICACEOS O DIATOMA- CEOS, LIMOS ELÁSTICOS.	
	ALTA A MUY ALTA	NULA	ALTA	CH	ARCILLAS INORGÁNICAS DE ALTA PLASTICIDAD ARCILLAS FRANCAS.	
	MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIBERA A MEDIA	OH	ARCILLAS ORGÁNICAS DE MEDIA A ALTA PLASTI- CIDAD, LIMOS ORGÁNICOS DE MEDIA PLASTICIDAD.	
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	FÁCILMENTE IDENTIFICABLES POR COLOR OLO- R, OMBRACIÓN ESPUMOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA			Pt	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	

Tabla No. 1

## PRÁCTICA 2

### CONTENIDO DE AGUA O HUMEDAD ( $\omega$ %)

#### Objetivo

Determinar la cantidad de agua presente en un suelo con relación a su peso seco

#### Introducción

Se define como contenido de agua o humedad de un suelo, a la relación que existe entre el peso de el agua contenida en la masa de suelo  $\bar{y}$  el peso de los sólidos del mismo.

#### Equipo

- Espátula larga
- Cápsula de aluminio
- Balanza de 0.01g de aproximación
- Horno eléctrico de temperatura constante

#### Procedimiento de la prueba

- Se pesa la cápsula de aluminio
- Con la espátula se extrae una porción de la muestra de suelo en estudio, depositándola en la cápsula (*fig. 6*)

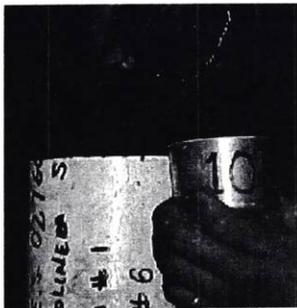


Figura 6

c) Se pesa la cápsula con el suelo (  $W\omega$  ) (fig. 7)



Figura 7

d) La cápsula con el suelo se introduce en el horno durante un mínimo de 16 hrs. a una temperatura de  $\pm 110^{\circ}\text{C}$ , transcurrido el tiempo indicado se retira del horno. (fig. 8)



Figura 8

f) Se pesa la cápsula con el suelo ya seco. (  $W_s$  )

### Cálculo

Se aplica la siguiente fórmula:

$$\omega \% = \frac{W\omega}{W_s} \times 100$$

### Definiendo la fórmula

$$\omega \% = \frac{(\text{Peso húmedo} + \text{cápsula}) - (\text{Peso seco} + \text{cápsula})}{(\text{Peso seco} + \text{cápsula}) - (\text{Peso cápsula})} \times 100$$

La fórmula anterior nos demuestra que se puede determinar la cantidad de agua presente en el suelo, en términos del peso seco o peso de los sólidos y no en función del peso total de la masa de suelo.

Se ha demostrado que el peso de la masa de un suelo esta formado por aire, agua y sólidos; despreciándose el peso del aire, pero es tal la variación en el contenido de agua de un suelo, que en México se han encontrado valores hasta de 900 % en arcillas procedentes de la región sureste del país. En el Valle de México son normales humedades de 500 a 600 %.

Para muchos cálculos el contenido de humedad o de agua se considera un parámetro muy importante, además se ha comprobado que las propiedades del suelo varían con él. (ver tabla No. 2)



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA - AZCAPOTZALCO

CONTENIDO DE HUMEDAD

Procedencia: Unidad Interdisciplinaria de Investigación

Sondeo: SM-1

AREA DE GEOTECNIA

Ident.	Prof. Lab.	Tara No.	Tara Wm+T	Wd+T	Tara		Observaciones
					g	%	
26	17.10	16	37.44	2.36	6.35	308.96	Arcilla café rojiza, con lunares de ceniza volcánica
PS27	17.10	101	17.77	9.73	7.54	347.12	Arcilla café clara
27	17.15	47	19.38	10.52	7.09	313.07	Arcilla café clara
27	17.60	59	18.89	10.20	8.04	402.31	Arcilla café clara
PI27	17.90	85	20.13	12.36	8.47	353.98	Arcilla gris verdea con vetas de arcilla café oscura y lunares de ceniza volcánica
28	17.90	7	49.94	27.74	16.35	194.91	Arcilla gris verdea con vetas de arcilla café oscura y lunares de ceniza volcánica
29	18.50	30	38.44	22.03	16.46	294.61	Arcilla gris verdea
19.10							
PS30	19.10	82	23.08	12.16	8.01	263.13	Arcilla gris verdea
30	19.35	100	21.99	11.87	7.68	241.33	Arcilla gris verdea
30	19.60	89	28.87	12.93	7.81	311.33	Arcilla gris verdea
PI30	19.90	80	26.58	16.18	7.98	126.83	Arcilla gris verdea
31	19.90	9	37.97	22.89	16.11	222.42	Arcilla gris verdea
20.50							
32	20.50	5	44.36	27.34	16.53	157.45	Arcilla verde amarillenta
21.10							
PS33	21.10	38	22.97	15.16	7.52	102.23	Arcilla gris verdea con arena fina
33	21.35	48	23.95	14.36	8.00	158.79	Arcilla gris verdea con arena fina
33	21.60	42	28.37	17.94	8.15	106.54	Arcilla gris verdea con lunares de ceniza volcánica
PI33	21.90	102	23.65	12.45	7.77	239.32	Arcilla gris verdea con vetas de arcilla café rojiza
34	21.90	26	43.63	22.52	16.33	314.26	Arcilla café rojiza con una veta de arena de fina a media

PS = Parte Superior del tubo Shelby

PI = Parte Inferior del tubo Shelby

Tabla No.2

## PRÁCTICA 3

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

#### Objetivo

En este ensayo los componentes de una muestra de suelo, se separan por tamaños (suelos gruesos y finos), y en función de lo anterior se clasifica el material.

#### Introducción

Se dice que se ha efectuado un ensayo granulométrico cuando por medios mecánicos se determina la distribución de las partículas de un suelo en cuanto a su tamaño, utilizando mallas con distintas aberturas.

#### Equipo

- Juego de mallas o cribas con tapa y charola
- Báscula con capacidad de 20 kg.
- Charolas
- Cepillo
- Vibrador mecánico Ro-Tap.

#### Procedimiento de la prueba

Dependiendo de las características del suelo por trabajar, se pueden utilizar dos métodos de cribado, primero utilizando un suelo en estado natural sin lavar y segundo lavando el suelo.

Los procedimientos usados se describen a continuación.

#### Análisis sin lavar

a) Peso de la muestra (se utiliza el suelo seco)

Para realizar la separación de las partículas, generalmente se trabaja en dos etapas. En la primera se usan las cribas de 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No. 4 y charola. En la segunda las cribas No. 10, 20, 40, 60, 100, y 200.

b) En la primera etapa, para efectuar la prueba las cribas se colocan en forma descendente.

c) La muestra de material previamente pesada se deposita en la criba superior de mayor diámetro, utilizando la tapadera para no permitir el derrame del suelo.

d) Posteriormente se realizan movimientos rotatorios (horizontales), ya sea manualmente o con vibrador mecánico (Ro - Tap) (*fig. 9*), para que el suelo vaya pasando y reteniéndose en las cribas subsiguientes.

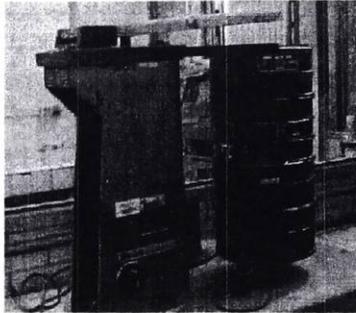


Figura 9

e) Una vez terminado el movimiento con el Ro Tap, la porción de material retenido en cada criba, se deposita en un papel o recipiente, las partículas que quedan retenidas en las aberturas de las cribas no deben forzarse a pasar a través de ellas, y se deben quitar con el cepillo.

f) El material retenido en cada criba se pesa.

g) Los valores se anotan en el registro. (retenido en peso, en g.)

h) En la segunda etapa el material que quedó retenido en la charola se deposita en la criba No. 10, repitiendo los pasos d, e, f y g.

#### **Análisis por lavado**

Cuando una muestra de suelo cualquiera que pasó la malla No. 4 contenga un porcentaje muy alto de suelos finos se procederá a efectuar el análisis por lavado.

a) Primero se efectúa un cuarteo a la muestra, colocando una de sus partes en un bote de aluminio.

b) El bote con la muestra se coloca en el horno para su secado.

c) Una vez que la muestra se encuentra seca se retira del horno y se pesa (peso de la muestra seca), posteriormente se le agrega agua, dejando saturar la muestra en el bote durante 24 horas para que los finos adheridos a ella se desprendan.

d) Transcurrido el tiempo necesario se vacía el contenido del bote en la criba No. 200, y con la ayuda de agua corriente se lava la muestra hasta que todos los finos pasen por esta malla (fig. 10), hasta observar que el agua pasa completamente clara.



Figura 10

e) El porcentaje de suelo ya lavado retenido en la criba No. 200 se vuelve a colocar en el bote, introduciéndolo en el horno para su secado.

f) Cuando la muestra retenida en la malla No. 200 se encuentre seca, se coloca en la criba superior (No. 10) para efectuar la segunda etapa de cribado, repitiendo los pasos d, e, f y g.

### Cálculo

% Retenido parcial :

$$\frac{\text{retenido en peso}}{\text{peso de la muestra seca}} \times 100$$

% Acumulado que pasa :

Se resta de 100 el retenido parcial en la primera criba, a éste valor se le resta el siguiente retenido parcial de la segunda criba y así sucesivamente.

### Gráfica

Con los valores obtenidos del acumulado que pasa en % en cada una de las cribas y el número de ellas con sus respectivas aberturas, se construye una gráfica en escala semi-logarítmica. En el eje de las ordenadas se anota en escala natural el porcentaje que pasa en cada criba y en el eje de las abscisas en escala logarítmica el número o abertura de las cribas correspondientes (anotándolo en la parte inferior), uniendo los puntos se define la curva granulométrica, que servirá para encontrar los parámetros D 60, D 30 y D 10, estos valores se obtienen encontrando en el eje de las ordenadas los valores de 10, 30 y 60 (% que pasa), llevando una línea horizontal hasta interceptar la curva granulométrica, y leyendo directamente el valor en milímetros en la parte inferior de la gráfica. (tabla No. 3)

Con los valores de D 60, D 30 y D10 se calculan los coeficientes de Uniformidad (Cu) y Curvatura (Cc). Usando las siguientes expresiones.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \qquad Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

Una vez que se conocen los porcentajes de material grueso y fino así como sus coeficientes de Uniformidad y Curvatura se puede clasificar el suelo de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. (S.U.C.S.)

Para una grava bien graduada (Gw) el Coeficiente de Uniformidad (Cu) será mayor de 4, y el Coeficiente de Curvatura (Cc) deberá estar entre 1 y 3, si no está dentro de este rango la grava será mal graduada. (Gp.)

Para una arena bien graduada (Sw) el Coeficiente de Uniformidad (Cu) será mayor de 6, y el Coeficiente de Curvatura (Cc) deberá estar entre 1 y 3, si no está dentro de este rango la arena será mal graduada (Sp). (ver tablas No. 3 y 4)



Casa abierta al tiempo

GRANULOMETRIA

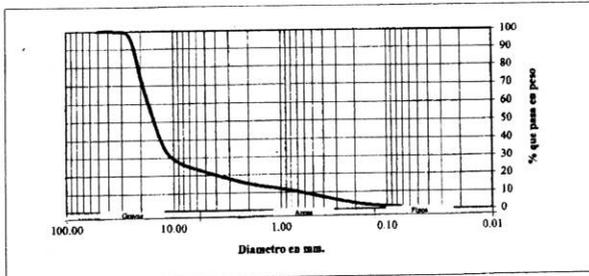
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA- AZCAPOTZALCO GEOTECNIA

Procedencia: Unidad Habitacional Constitución de Apatztingán, Av Tepalcates s/n D.F. Iztapalapa

Sondeo: SM-1 Recipiente No. 18  
 Muestra: Representativa  
 Prof: 1735-1790 mts. Peso muestra seca 3265.21 gr.

Malla No.	Abertura	Peso suelo retenido	Porcentaje Reten. parcial	Porcentaje que pasa	Malla No.	Abertura	Peso suelo retenido	Porcentaje Reten. parcial	Porcentaje que pasa
		gr.	%	%			mm.	gr.	%
2"	50.80	0	0.00	100.00	10	2.000	208.7	6.39	15.08
1 1/2"	36.10	0	0.00	100.00	20	0.840	122.94	3.77	11.32
1"	25.40	97.43	2.98	97.02	40	0.420	125.5	3.84	7.48
3/4"	19.05	902.01	27.62	69.39	60	0.250	94.14	2.88	4.59
1/2"	12.70	1005.84	30.80	38.59	100	0.149	66.64	2.04	2.55
3/8"	9.52	334.27	10.24	28.35	200	0.074	41.02	1.26	1.30
4	4.76	224.41	6.87	21.48	Pasa 200		42.31	1.30	0.00
Pasa 4					suma		3265.21	97.02	

CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO GP



D10 = 0.73 D60  
 CU =  $\frac{D60}{D10}$  = 23.29 G = 78.52 %  
 D30 = 10 D10  
 D60 = 17 (D30)<sup>2</sup>  
 Cc =  $\frac{(D30)^2}{D10D60}$  = 8.06 S = 20.18 %  
F = 1.30 %

Observaciones: Análisis de la muestra sin lavar

Tabla No. 3



GRANULOMETRIA

GEOTECNIA

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA-AZCAPOTZALCO

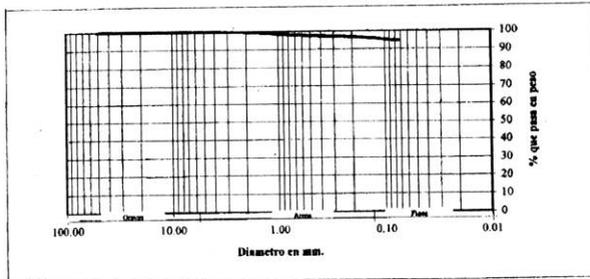
Procedencia: Unidad Habitacional Constitución de Apatzingán, Av Tepalcates s/n  
D.F. Iztapalapa

Sondeo: SM-1 Recipiente No. 17  
Muestra: 30  
Prof.: 19.10-19.90 mts. Peso muestra seca 55.47 gr.

Malla No.	Abertura	Peso suelo retenido	Porcentaje Reten.		Malla No.	Abertura	Peso suelo retenido	Porcentaje Reten.	
			parcial	%				parcial	%
2"	50.80	0	0.00	100.00	10	2.000	0.26	0.47	99.53
1 1/2"	36.10	0	0.00	100.00	20	0.840	0.77	1.39	98.14
1"	25.40	0	0.00	100.00	40	0.420	0.44	0.79	97.35
3/4"	19.05	0	0.00	100.00	60	0.250	0.20	0.36	96.99
1/2"	12.70	0	0.00	100.00	100	0.149	0.46	0.83	96.16
3/8"	9.52	0	0.00	100.00	200	0.074	0.84	1.51	94.65
4	4.76	0	0.00	100.00	Pasa 200		52.50	94.65	0.00
Pasa 4					suma		55.47	100.00	

CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO

CH



D10 = 0 D60 = 0.00 G = 0.00 %  
 CU = 0 D10 = 0.00 S = 5.35 %  
 D60 = 0 (D30)<sup>2</sup> = 0.00 F = 94.65 %  
 Cc = D10XD60

Observaciones: Análisis de la muestra por lavado ( malla # 200 )

Tabla No. 4

## PRÁCTICA 4

### PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS O DENSIDAD DE SÓLIDOS (S<sub>s</sub>)

#### Objetivo

- Obtener una curva de calibración representativa de un matraz aforado.
- Determinar el peso específico S<sub>s</sub> en suelos finos, cohesivos y friccionantes.

#### Introducción

Se define como densidad de sólidos de un suelo, a la relación que existe entre el peso de los sólidos y el peso del volumen de agua que desalojan.

El valor de la densidad, queda entonces expresado por un número abstracto, que además de servir para fines de clasificación, interviene en la mayor parte de problemas reales y cálculos que se realizan en las pruebas de laboratorio de Suelos.

El S<sub>s</sub> se determina haciendo uso de matraces que fueron calibrados a distintas temperaturas, encontrándose que en la práctica la densidad de los suelos se localiza comúnmente entre los siguientes valores:

TIPO DE SUELO	S <sub>s</sub>
Cenizas volcánicas	2.20 - 2.50
Suelos orgánicos	2.50 - 2.65
Arenas y gravas	2.65 - 2.67
Limos inorgánicos y guijarros arcillosos	2.67 - 2.72
Arcillas poco plásticas y medianamente plásticas	2.72 - 2.78
Arcillas medianamente plásticas y muy plásticas	2.78 - 2.84
Arcillas expansivas	2.84 - 2.88

Respecto a los valores de los S<sub>s</sub> indicados existen ciertas excepciones, como en el caso de la turba en la que se han encontrado valores de 1.5 y aún menores debido a la presencia de gran cantidad de materia orgánica. En cambio en los suelos compuestos principalmente de minerales de hierro los valores de la densidad han alcanzado valores hasta de 3.0.

Para encontrar el  $S_s$  es común utilizar la siguiente expresión:

$$S_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{W_s}{W_s + W_{mwf} - W_{mwfs}}$$

**Donde:**

$S_s$  = Peso específico relativo de sólidos. (Densidad de sólidos.)

$W_s$  = Peso de los sólidos

$V_s$  = Volumen de los sólidos

$W_{mwf}$  = Peso del matr az aforado. (calibración.)

$W_{mwfs}$  = Peso del matr az aforado más los sólidos

**Calibración del matr az**

El peso del volumen de agua que un matr az puede contener varía con la temperatura; lo anterior se debe, por una parte a que los cambios de temperatura provocan variaciones en las medidas del recipiente, y por otra, se modifica la densidad del agua.

Para realizar este trabajo, es conveniente construir una gráfica de calibración para cada uno de los matr aces, es decir, una curva que tenga por ordenadas los pesos del matr az lleno con agua hasta la marca de aforo, y como abscisas, las temperaturas correspondientes.

**Equipo** (fig. 11)

- Balanza de 0.01 g de aproximación
- Matr az aforado de 500 ml.
- Termómetro de -20 a 50  C
- Pizeta
- Pipeta
- Parrilla eléctrica
- Criba N o- 40
- Mortero
- Horno de temperatura constante
- Embudo
- Solución para disolver grasas (mezcla crómica)
- Alcohol de 96 
- Ether sulfúrico

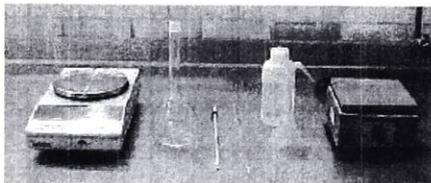


Figura 11

Para construir la gráfica de calibración se procede de la siguiente forma:

- a) Usando detergente se lava el matraz por dentro y por fuera, enjuagándolo varias veces.
- b) Con el fin de que se disuelvan todas las grasas e impurezas adheridas en el interior del matraz, este se agita con una mezcla crómica (mezcla formada por, Dicromato de Potasio 60 g, Acido Sulfúrico 460 ml. y 300 ml. de Agua.)
- c) El matraz se enjuaga con agua hasta eliminar la mezcla.
- d) Se coloca el matraz boca abajo para que se escurra el agua.
- e) Una vez que el agua ha escurrido, se introduce al matraz un porcentaje pequeño de alcohol, que elimina en forma rápida el agua adherida en las paredes del mismo, dejándolo secar.
- f) Después, se enjuaga el matraz con Ether Sulfúrico, los vapores del éter se eliminan colocando el matraz con la boca hacia abajo de 15 a 20 minutos.
- g) Una vez eliminados estos vapores, se llena el matraz con agua destilada hasta lograr que el menisco descansa sobre la marca de aforo.
- h) El matraz se seca de la parte exterior así como del interior del cuello.
- i) Una vez que está seco se obtiene el peso del matraz lleno con el agua, anotando el valor en el registro.
- j) Se mide la temperatura en el centro del globo del matraz, reportando el valor en el registro.

k) El matraz con el agua se pone en baño María hasta que la temperatura aumente aproximadamente 5<sup>o</sup> C.

l) Nuevamente se afora el matraz repitiendo los pasos h, i, j y k.

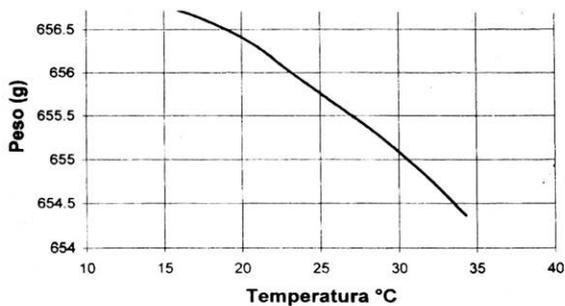
m) En forma sucesiva se anotan las diferentes lecturas de pesos y temperaturas del matraz, iniciando con la temperatura ambiente hasta alcanzar mas o menos 35<sup>o</sup> C calentándolo siempre a baño María. (ver tabla No. 5)

n) Con los valores obtenidos, se construye la curva de calibración procurando escoger una escala adecuada que permita identificar con precisión pesos y temperaturas. (ver gráfica No. 1)

Matraz No. 1

Prueba No.	Temperatura °C	Peso en g.
1	14.1	656.83
2	17.5	656.62
3	20.6	656.35
4	23.1	656.01
5	26.0	655.63
6	28.9	655.25
7	31.8	654.81
8	34.3	654.36
Peso Matraz	153.60	

Tabla No.5



Gráfica No.1

### **Preparación del suelo**

- a) De la muestra de suelo por ensayar, se extrae una porción representativa, colocándola en una charola, en seguida se introduce en el horno para su secado a una temperatura de  $110^{\circ}$  C.
- b) Una vez que el suelo está seco se disgrega con el mortero.
- c) El suelo ya disgregado se pasa por la criba No. 40
- d) De la porción de suelo que pasa la criba, se pesan entre 60 y 100 g y se depositan en un recipiente de aluminio.

### **Determinación de la prueba**

- a) Se agregan al matraz aproximadamente 200 ml. de agua destilada y se pesan, secando perfectamente la parte exterior.
- b) Mediante un embudo, en el matraz con agua se introduce el suelo ya preparado y nuevamente se pesa.
- c) La diferencia entre los dos pesos será el valor del peso de los sólidos. (Ws.)
- d) El valor obtenido se anota en el registro.
- e) Deberá procurarse que al momento de introducir el suelo al matraz, las partículas de suelo que queden adheridas al cuello, finalmente queden depositadas en la suspensión, esto se logra con la ayuda de la pizeta.
- f) Con el fin expulsar el aire atrapado entre las partículas, el matraz con agua y suelo se coloca en la parrilla para calentarlo (*fig. 12*), dejándolo hasta el punto de ebullición, la operación de expulsión de aire se acelera girando continuamente el matraz en forma vigorosa.

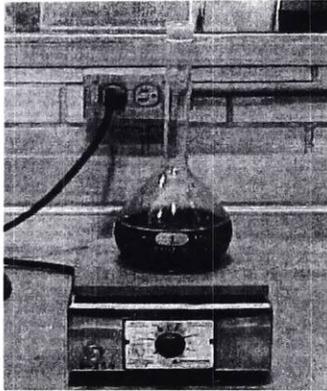


Figura 12

g) Tratándose de suelos finos (arcillas, limos), al momento de comenzar la ebullición, se debe dejar de 35 a 45 minutos, en cambio cuando se trabaja con suelos granulares (arenas), el tiempo de ebullición será de 25 a 30 minutos. (fig. 13)

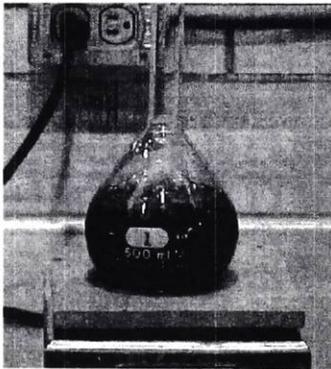


Figura 13

h) Transcurrido el tiempo indicado se retira el matraz de la parrilla, agregándole agua hasta alcanzar la parte inferior del cuello.

i) Se procede a enfriar el matraz sumergiéndolo en agua, hasta que adquiera una temperatura que se encuentre dentro del rango de la curva de calibración.

j) Una vez que el matraz se ha enfriado, se retira del agua y se afora con ayuda de la pipeta y pipeta, agregando o quitando agua hasta que el menisco descansa sobre la marca de aforo. (fig. 14)



Figura 14

k) Se seca el interior del cuello del matraz así como el exterior.

l) A continuación se pesa el matraz más agua, más suelo aforado (Wmws) anotándolo en el registro. (fig. 15)



Figura 15

m) Se mide la temperatura en el centro del globo del matraz, anotándolo en el registro. (fig. 16)



Figura 16

### Cálculo

1) La temperatura anterior, medida al centro del globo del matraz se ubica en la curva de calibración, localizando su correspondiente peso aforado sin sólidos ( $W_{mwf}$ ), el valor obtenido se anota en el registro. (ver grafica No. 1)

2) Con los datos anteriores se calcula la densidad de sólidos ( $S_s$ ) empleando la fórmula ya descrita:

$$S_s = \frac{W_s}{W_s + W_{mwf} - W_{mws}}$$

(ver tabla No. 6)





## PRÁCTICA 5

### LÍMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG

#### Objetivo

Determinarle a una muestra de suelo su límite líquido y plástico clasificando el material con base a estos valores, obteniendo además el índice de fluidez y de tenacidad.

#### Introducción

Los suelos finos y las arenas de baja compacidad, se pueden deformar en mayor o menor escala dependiendo de sus características físicas y la cantidad de agua que posean. De ello depende también su resistencia al esfuerzo cortante; por ejemplo: una arcilla a medida que va perdiendo su contenido de humedad, la resistencia inicial se va incrementando llegando a un estado plástico, si el proceso continúa hasta que el suelo alcance el estado sólido, su resistencia resulta mayor.

Lo anterior se comprueba con la propuesta experimental de Atterberg que considera cinco estados físicos por los que pueden pasar los suelos al disminuir su contenido de humedad, definiéndose tres fronteras, a las que llamó Límites de Consistencia (LL, LP, LC.)

Límite Líquido (LL) - Es la frontera entre el estado semi-líquido y plástico.

Límite plástico (LP) - Es la frontera comprendida entre el estado plástico y semi-sólido.

Límite de contracción (LC) - Se localiza cuando el suelo que encuentra entre los estados semi-sólido y sólido.

Los valores de estos límites, se pueden encontrar realizando pruebas sencillas de laboratorio, utilizando la llamada copa de Casagrande que presenta características bien definidas, la cual golpea sobre una base, contándose el número de golpes necesarios hasta alcanzar el Límite Líquido para cierto contenido de humedad.

#### Equipo (fig. 17)

- Balanza de 0.01 g de aproximación
- Cápsula de porcelana
- Espátula larga
- Copa de Casagrande

- Ranurador plano ( para suelos finos )
- Ranurador curvo ( para suelos granulares )
- Horno de temperatura constante
- Vidrios de reloj ( previamente numerados y pesados )
- Pizeta
- Vernier

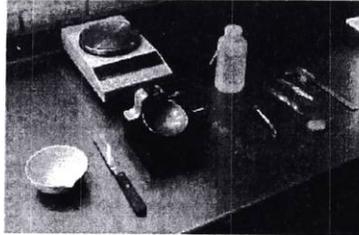


Figura 17

#### **Procedimiento para encontrar el limite líquido ( LL )**

- a) Antes de iniciar la prueba, la copa de Casagrande deberá ajustarse, para que tenga una altura de caída de 1 cm. exactamente. Esta distancia se mide con una solera de ese espesor. Se aflojan los tornillos que se encuentran arriba de la copa. A continuación, se le da vuelta a la manija hasta que la copa se eleve a su máxima altura colocando la solera en la parte inferior de la copa, si ésta se encuentra por arriba o abajo de la altura de 1 cm. se ajusta hasta lograr exactamente la medida antes dicha. Una vez logrado esto se aprietan los tornillos para evitar que se modifique la altura.
- b) La muestra de suelo que se usará en la prueba se deposita en una cápsula de porcelana, agregándole agua y remoldeándolo con la espátula larga, hasta lograr una pasta homogénea.
- c) Posteriormente se depositan en la copa aproximadamente 60 gr de suelo remoldeado procediendo de inmediato a efectuar el ensayo. (fig. 18)

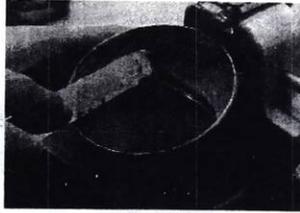


Figura 18

d) Una vez enrasado, se hace en el suelo una ranura, utilizando el ranurador el cual se desliza de atrás hacia adelante a partir del centro de la copa. (fig. 19)

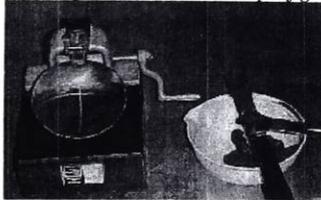


Figura 19

e) Hecha la ranura en el suelo, esta deberá cerrarse al impactarse la copa con la base, por lo que antes de proceder a efectuar los golpes, se revisa que la copa y la base se encuentren limpios y secos.

f) La manivela de la copa de Casagrande, se hace girar a una velocidad de dos golpes por segundo, parando de golpear al observarse que debido a los impactos la ranura se ha cerrado en el centro aproximadamente un centímetro de longitud. (fig. 20)

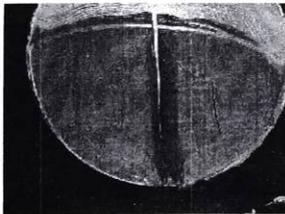


Figura 20

2892796

g) Posteriormente, se extrae una muestra de suelo que se encuentre lo más cercana a el cierre de la ranura, depositándolo en un vidrio de reloj, procediendo a determinar su contenido de humedad en %. (fig. 21)



Figura 21

h) Se repiten los puntos c, d, e, f y g disminuyendo o aumentando la humedad hasta obtener cinco valores comprendidos entre 5 y 50 golpes; con estos datos (humedad y número de golpes) ya graficados se traza la curva de fluidez. (ver tabla No.-7.)

#### **Obtención del límite plástico (LP)**

a) Utilizando una porción del suelo usado para determinar el límite líquido, se forma un cubo de 1 cm por lado, (si la cantidad de agua que posee el suelo es demasiada, se reduce su contenido de humedad con papel secante o secándolo a la intemperie).

b) Una vez que ha disminuido la humedad en el cubo, con los dedos se forma una esfera o rollo.

c) La esfera se rola con la palma de la mano y sobre un vidrio limpio, para que siga perdiendo humedad hasta formar un cilindro de aproximadamente 1/8" (3.2 mm.) de diámetro.

d) Si se observa que el cilindro de suelo se agrieta y rompe en las dimensiones fijadas, en ese instante el suelo ha llegado a su límite plástico. (fig. 22)

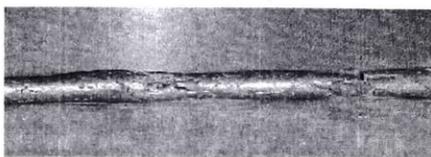


Figura 22

- e) Para checar resultados se realizan dos ensayos con una aproximación de  $\pm 2\%$  de error.
- f) Los suelos de los dos ensayos se depositan en cápsulas de aluminio, procediendo a determinar su contenido de humedad en %.

#### **Obtención del límite de contracción (LC)**

- a) Cuando la muestra de suelo que se está ensayando se encuentra muy cerca de su límite líquido entre 20 y 30 golpes (contenido de humedad cercano al límite líquido), se deposita una parte en una cápsula de aluminio que fue previamente pesada y medida su altura y diámetro interior, con el objeto de eliminar las burbujas de aire que hayan quedado atrapadas, el suelo y la cápsula se golpean en una superficie sólida, con lo anterior se logra un mejor acomodo de las partículas, posteriormente el suelo se enrasa y se pesa. (fig. 23)

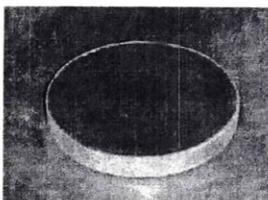


Figura 23

- b) El suelo depositado en la cápsula de aluminio se deja secar a la intemperie hasta que este adquiere la humedad del ambiente.
- c) Cuando la pastilla de suelo está a la humedad del ambiente, se pesa y se mide en su diámetro y altura, tomando varias lecturas en diferentes puntos, procediéndose a determinar su volumen y contenido de humedad. (fig. 24)

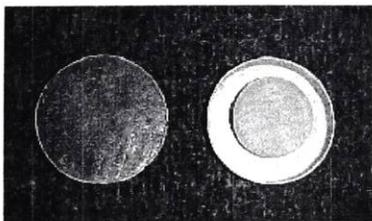


Figura 24

## Cálculos

### Límite líquido (LL)

a) Con los valores del número de golpes obtenidos para diferentes contenidos de humedad, se hace una gráfica localizando en el eje de las abscisas  $N^{0.25}$  de golpes y en el eje de las ordenadas el contenido de humedad trazando la curva que se le llama de Fluidez.

b) El límite líquido queda definido por la ordenada que intercepta la Abscisa de 25 golpes con la curva de Fluidez del suelo analizado (ver tabla No.8).

### Límite plástico (LP)

El contenido de humedad encontrado en los dos ensayos realizados con los rollitos de suelo, se promedian y el resultado será el límite plástico buscado.

### Límite de contracción (LC)

Para obtener el  $L_C$  se emplea la siguiente fórmula :

$$LC \% = (100) \frac{W_1 - W_2 - (V_1 - V_2) \gamma \omega}{W_s}$$

Donde :

$W_1$  = Peso del suelo húmedo

$W_2$  = Peso del suelo seco

$V_1$  = Volumen del suelo húmedo

$V_2$  = Volumen del suelo seco

$W_s$  = Peso de los sólidos

$\gamma \omega$  = Peso específico del agua

### Índice de plasticidad (IP)

El valor del IP, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$IP = LL - LP$$

Una vez encontrados los límites de Atterberg se puede identificar un suelo fino, utilizando la carta de plasticidad en la forma siguiente: los valores de LL e IP obtenidos de los ensayos del suelo, se llevan a la carta y en el lugar donde se intercepten estos dos valores se encontrará un símbolo que será el nombre asignado al suelo. (ver tabla No. 7)

### **Consistencia relativa (CR)**

$$CR = \frac{LL - \omega}{IP}$$

Donde :

$\omega$  = Humedad natural

### **Índice de escurrimiento o fluidez ( FW )**

El índice de Fluidez se define como la pendiente de la curva de Fluidez; se obtiene numéricamente al encontrar la diferencia de humedades en un ciclo completo de golpes.

Ejemplo : El ciclo completo se considera de 5 a 50 golpes, la diferencia entre el valor de la humedad correspondiente a 50 y 5 golpes, será FW.

$$FW = 198.6 - 185.1 = 13.5 \text{ (ver tabla No.8)}$$

### **Índice de tenacidad (TW)**

Para encontrar este valor se aplica la siguiente expresión:

$$Tw = \frac{IP}{FW}$$

Donde:

Tw = Índice de tenacidad

IP = Índice plástico

Fw = Índice de Fluidéz

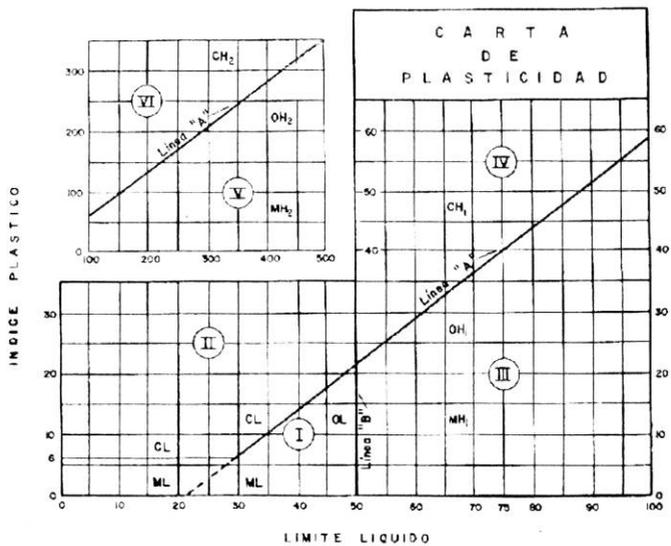


Tabla No. 7

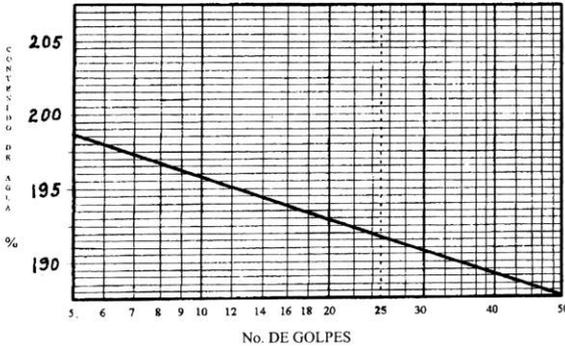


GEOTECNIA

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA - AZCAPOTZALCO LIMITES DE CONSISTENCIA

Procedencia: Unidad Habitacional Constitución de Apatzingán, Av. Tepalcates s/n, Iztapalapa, D.F.  
 Sondeo: SM-1 Muestra: 30 Prof.: 19.10-19.90 mts  
 Descripción del Material: Arcilla gris verdosa

L I M I T E L I Q U I D O										
Ident. de Lab. Muestra No.	Numero de Golpes		Tara No.	Wm+T gr.	Wd+T gr.	Tara gr.	Ww gr.	Ws gr.	ω %	
	38	39	47	29.11	24.61	22.26	4.50	2.35	191.49	
	23	24	44	28.29	24.30	22.37	3.99	1.93	206.74	
	15	16	24	29.52	24.75	22.32	4.77	2.43	196.30	
	7	8	11	27.67	23.87	21.97	3.80	1.90	200.00	
L I M I T E P L A S T I C O										
			9	9.95	9.20	7.80	0.75	1.40	53.57	
			27	9.87	9.09	7.60	0.78	1.49	52.35	
R E S U L T A D O S										
	ω	LL	LP	IP	CR	FW	TW	Clasf.	SUCS	
	%	%	%	%						CH
		191.75	52.96	138.79						



Observaciones: \_\_\_\_\_  
 Operador: \_\_\_\_\_ Cálculo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Tabla No. 8



## PRÁCTICA 6

### CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

#### Objetivo

Que el alumno comprenda el fenómeno de la compresibilidad de los suelos por medio de la prueba de consolidación y obtenga los parámetros necesarios para la solución de problemas prácticos tales como la carga de preconsolidación [ $P_c$  ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )], coeficiente de consolidación ( $a_v$ ), coeficiente de variación volumétrica ( $m_v$ ) y coeficiente de consolidación ( $C_v$ ), los cuales son factores esenciales para el cálculo de asentamientos en toda obra desplazada sobre suelo compresible ya sea durante o después de su construcción.

#### Introducción

Las cargas de cualquier estructura se transmiten al suelo a través de sus respectivas cimentaciones. Estas descargas tienden a deformar el suelo verticalmente desplazando las partículas de su posición original. El movimiento se debe a que por la presión ejercida el agua y aire contenidos en los poros de un suelo empiezan a fluir transmitiendo lentamente esta presión a las partículas sólidas. Como en los suelos finos por lo general se tiene un coeficiente de permeabilidad bajo, el flujo del agua dentro del suelo es un proceso lento que se desarrolla con el tiempo. Este proceso gradual mediante el cual el agua transmite presión de poro al suelo por el incremento de carga, se va convirtiendo con el tiempo en esfuerzo intergranular, el cual va acompañado del escape de los fluidos o del aire de los poros del suelo, se le conoce generalmente como proceso de consolidación.

La deformación del suelo se considera elastoplástica y no depende solamente del desplazamiento de las partículas, a esto se une también la deformación propia de cada partícula del suelo al aumentar la presión, dando como resultado una reducción permanente en los vacíos del suelo sometido a cargas.

En el pasado muchos problemas graves de asentamientos en estructuras fueron causados por desconocer que la deformación (consolidación) del suelo es un proceso lento que puede continuar por muchos años, obteniéndose asentamientos totales muy altos dependiendo del tipo de suelo. En la actualidad estos movimientos verticales pueden valuarse en forma eficiente y el mejor método para predecirlos es utilizando la teoría así como la prueba de laboratorio denominada Consolidación Unidimensional.

El ensayo consiste en comprimir verticalmente un suelo, que se confina en un anillo rígido siguiendo una secuencia de cargas. En todos los casos y para cada incremento de carga, el suelo sufre una primera deformación correspondiente al retraso hidrodinámico que se le llama consolidación primaria, y también sufre una deformación adicional debido a un

fenómeno secundario, que en las arcillas se le llama retraso plástico y en las arenas retraso friccional. En general el suelo se deformará siempre una cantidad mayor que la correspondiente al retraso hidrodinámico exclusivamente. Sin embargo, el retraso hidrodinámico es en lo que se apoya la teoría de la consolidación ya que según esta solo es posible un fenómeno de consolidación cuando existe escape de agua y aire hacia el exterior de la masa de suelo. En la práctica se admite que también se genera un fenómeno similar en masas de suelo que no están 100 % saturadas. En estos casos se aplica la teoría de la consolidación, teniendo presente que se trata solo de una interpretación aproximada.

### **Equipo** (figs. 25,26 y 27)

- Consolidómetro compuesto de:
  - Anillo rígido
  - Recipiente de lucita
  - Piedras porosas
  - Placa de carga
  - Balín de acero
  - Micrómetro en milímetros
- Flexómetro
- Calibrador
- Cortador de arco con alambre de acero
- Espátula de cuchillo
- Cronómetro
- Trompo para labrado

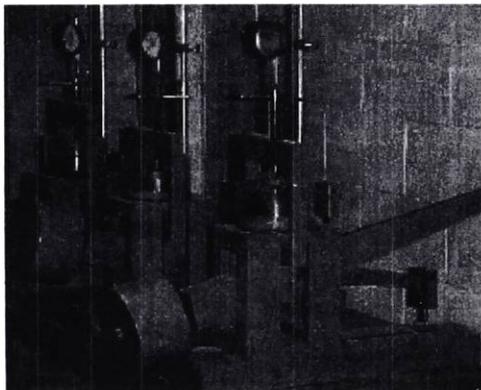


Figura 25

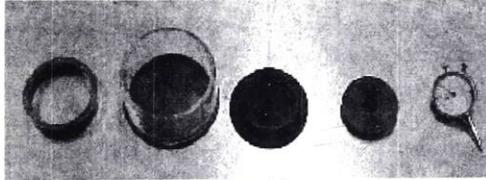


Figura 26



Figura 27

### Calibración del consolidómetro

Antes de efectuar la prueba, se realiza un trabajo necesario e importante, como es la obtención de la relación de brazo (RB) del aparato, que sería la relación de distancia o el brazo de palanca con que se aplica la carga. (fig. 28.)

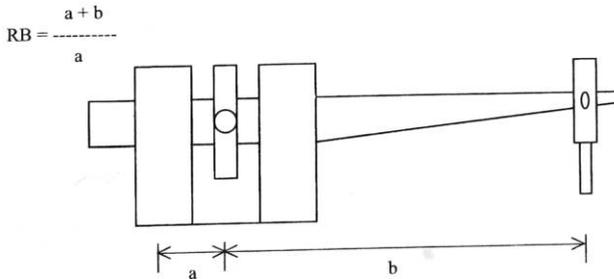


Figura 28

Una vez obtenida la relación de brazo se calculan las presiones que se van a aplicar a la muestra una vez instalada en el consolidómetro de acuerdo a las formulas siguientes:

1) Cálculo de la carga en el porta pesas en Kg :

$$CPP = \frac{(A)(\sigma)}{RB}$$

2) Cálculo de la presión obtenida por cada incremento de carga en el porta pesas en Kg/cm<sup>2</sup>

$$\sigma = \frac{(RB)(CPP)}{A}$$

**Donde:**

**CPP** – Carga en el porta pesas en Kg

**A** – Área del anillo en cm<sup>2</sup>

**σ** – Presión en la pastilla de suelo en Kg/cm<sup>2</sup>

**RB** – Relación de brazo (adimensional)

**Ejemplo:**

CPP = 0.500 Kg.

A = 50.01 cm<sup>2</sup>

σ = 0.125 Kg/cm<sup>2</sup>

RB = 12.98

Aplicando la fórmula No. 1:

$$CPP = \frac{(50.01)(0.125)}{12.98} = 0.482 \text{ Kg.}$$

Aplicando la fórmula No. 2:

$$\sigma = \frac{(12.98)(0.482)}{50.01} = 0.125 \text{ Kg/cm}^2$$

#### **Determinación de las deformaciones que experimenta el consolidómetro**

Una vez que se obtienen las presiones por aplicar, las cuales son: 0.125, 0.250, 0.500, 1.000, 2.000, 4.000 y 8.000  $\text{Kg/cm}^2$ , es necesario conocer las deformaciones que presentará el consolidómetro en cada incremento de carga en la siguiente forma:

Conocidas las presiones, que se aplicarán a la muestra de suelo, se colocan en la cazuela las dos piedras porosas, arriba de la piedra porosa superior se ubica la placa de carga y el balín de acero, posteriormente el conjunto se lleva al consolidómetro, para después colocar el vástago de forma tal, que toque el balín de acero, hecho lo anterior se fija el micrómetro sobre el marco de carga.

La prueba principia efectuando una lectura inicial en el micrómetro, e inmediatamente después se deposita en el porta pesas la primera pesa o presión, es conveniente esperar unos segundos para realizar la lectura. De ésta forma se procede con todas las presiones o pesas que se vayan a aplicar en el ensayo.

La diferencia de las lecturas en cada presión, respecto a la lectura inicial, será la deformación que sufre todo el conjunto. (ver siguiente tabla).

#### **Ejemplo:**

$\sigma$	lectura del micrómetro	deformación consolidómetro
$\text{Kg/cm}^2$	mm	mm
0.000	16.325	0.000
0.125	16.287	0.038
0.250	16.259	0.066
0.500	16.247	0.078
1.000	16.232	0.093
2.000	16.209	0.116
4.000	16.186	0.139
8.000	16.155	0.170

Conocido lo anterior, la prueba completa se ilustra a continuación.

### Procedimiento

- a) Al anillo donde se introduce la muestra de suelo se le mide su diámetro interior, altura y peso.
- b) Para labrar la probeta, un trozo de suelo inalterado se coloca en el trompo, encima del suelo se coloca el anillo de acero marcando su perímetro interior, con el cuchillo se va rebajando el suelo hasta que este penetre en el anillo, forzándolo en forma ligera. (fig. 29)

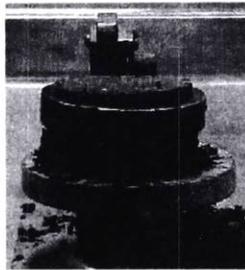


Figura 29

- c) Cuando el suelo ha penetrado completamente en el anillo, con el cortador de arco se quita el sobrante y se enrasa perfectamente.
- d) Se voltea el anillo con la muestra de suelo en su interior, colocando el lado enrasado en un lugar plano que puede ser un vidrio, se vuelve a cortar la parte sobrante de suelo y se enrasa nuevamente.
- e) El anillo con el suelo adentro de él, se limpia perfectamente y se pesa, anotando el dato en el registro ( $W_m + \text{anillo.}$ )
- f) Antes de colocar las piedras porosas, éstas se saturan, cubriendo además las caras del suelo con papel absorbente para evitar el contacto del suelo con las piedras y estas puedan taparse, la piedra porosa inferior se instala en el recipiente y encima de esta el anillo con el suelo, a continuación se coloca la piedra porosa superior y la placa de carga con su balín, procurando no hacer contacto con el anillo, en su parte interior.
- g) Todo el conjunto se monta en el consolidómetro, dejando en contacto el vástago con el balín (fig. 30), después se coloca el micrómetro sobre el marco de carga, y en esta forma se tiene todo listo para iniciar la prueba.

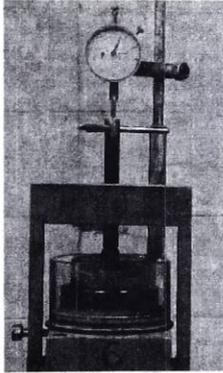


Figura 30

h) Se efectúa la lectura inicial en el micrómetro.

i) El suelo dentro del consolidómetro se satura 20 segundos antes de colocar el primer incremento de carga, procurando que el agua cubra hasta la piedra porosa superior. La saturación dependerá de como se haya encontrado el suelo, "In situ," por abajo o por arriba del nivel de aguas freáticas (N.A.F.). Si se encontraba por arriba del N.A.F. no se satura pero se cubre con plástico o papel auto adherente para que no pierda humedad durante la prueba.

j) El criterio que se utiliza para la aplicación de las cargas al espécimen, va de acuerdo con las presiones a las que se vaya a someter el suelo de apoyo de la cimentación. El método es el siguiente; una vez realizada la lectura inicial del micrómetro se indica la fecha y la hora del principio de la prueba, uno de los alumnos coloca cuidadosamente el primer incremento de carga sobre el porta pesas, al mismo instante otro pone en marcha el cronómetro, tomando lecturas en el micrómetro a intervalos de *6, 12, 18, 30 segundos* *1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos* *1, 2, 4, 8 horas, etc.*

k) El siguiente incremento de carga se suma al anterior originando una nueva presión sobre el suelo. En cada incremento se realizan las lecturas tiempo-micrómetro tal como se indicó en el párrafo anterior. (fig. 31)

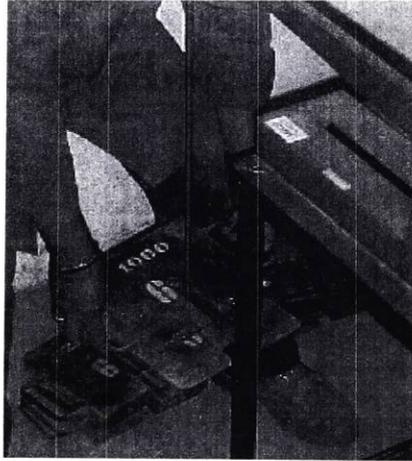


Figura 31

### **Descarga**

- a) El procedimiento para descargar el consolidómetro, se efectúa de tal forma que se vayan retirando las cargas del porta pesas a intervalos de *30 minutos*, primero se hace una lectura en el micrómetro y posteriormente se procede a retirar la primer carga, *30 minutos* después se retira la segunda carga leyendo también antes el micrómetro y así sucesivamente, hasta que se logra la descarga total.
  
- b) Cuando se ha terminado de descargar se procede a desmontar el anillo con la muestra de suelo, procurando no perder material, se coloca únicamente el suelo en una cápsula de aluminio y se pesa, enseguida se traslada al horno para su secado y de esta forma se determina su contenido de humedad (ver tabla No. 9)

### Cálculo

a) El contenido de humedad inicial y final se obtiene de la siguiente manera:

Humedad inicial ( $\omega_i$ )

$$\omega_i = \left( \frac{W_m + \text{anillo} - \text{peso del anillo}}{W_d + \text{cápsula} - \text{peso de la cápsula}} - 1 \right) \times 100 = \frac{534.76 - 415.00}{53.80 - 15.80} - 1 \times 100 = \frac{119.76}{38.00} - 1 \times 100$$

$$\omega_i = 215.16 \%$$

Donde:

$W_m$  = Peso húmedo

$W_d$  = Peso seco

Humedad final ( $\omega_f$ )

$$\omega_f = \frac{W_m}{W_d} \times 100 = \frac{W_m + \text{cápsula} - W_d + \text{cápsula}}{W_s} \times 100 = \frac{89.91 - 53.80}{38.00} \times 100$$

$$\omega_f = 95.03 \%$$

b) Lectura del micrómetro

Lectura inicial de cada incremento = **18.716, 18.420, 18.054, 17.798, etc.**

c) Deformación lineal

Lectura inicial de la prueba menos lectura inicial de cada incremento =  
 $18.716 - 18.420 = 0.296 \text{ mm}$ .

d) Deformación lineal corregida

Deformación lineal menos corrección del aparato =  $0.296 - 0.038 = 0.258 \text{ mm}$ .



c) Espesor comprimido (H)

Altura del suelo menos deformación lineal corregida =  $19.900 - 0.258 = 19.642 \text{ mm}$ .

f) Espesor de los sólidos (Hs)

$$H_s = \frac{(10) (W_s)}{(\gamma_w) (S_s) (A)} = \frac{10 \times 30}{1 \times 2.44 \times 49.89} = \frac{380}{121.73}$$

**Hs = 3.12 mm.**

Donde:

Ws = Peso de los sólidos

$\gamma_w$  = Peso volumétrico del agua

7) Relación de vacíos (e)

$$e = \frac{H - H_s}{H_s} = \frac{16.778}{3.12} = 5.375$$

Donde:

H = Altura de la muestra al inicio de la prueba.

Hs = Altura de la muestra después de cada incremento.

g) Los resultados de la *relación de vacíos* (e) así como el *logaritmo* (P) correspondiente al cálculo de carga y descarga, se grafican para obtener la curva de consolidación que se utiliza para determinar la carga de preconsolidación (Pc) del suelo de la siguiente forma: Primero se localiza el punto de máxima curvatura en el tramo de recompensión, por dicho punto se traza una línea tangente a la curva y otra paralela al eje horizontal, se traza la bisectriz del ángulo que forman, después se prolonga el tramo virgen hasta interceptar a la bisectriz, este punto de intersección tiene como abscisa aproximada la carga de preconsolidación. (ver gráfica No. 9)

h) Coeficiente de compresibilidad (av.)

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta P} = \frac{e_2 - e_1}{P_2 - P_1} = \frac{5.292 - 5.375}{0.125 - 0} = 0.661 \text{ cm}^2 / \text{Kg.}$$

i) Coeficiente de variación volumétrica (mv.)

$$m v = \frac{a v}{1 + e_f} = \frac{0.661}{6.375} = \mathbf{0.104 \text{ cm}^2 / \text{Kg.}}$$

j) H m

$$H m = \frac{\text{Suma de los espesores comprimidos de dos etapas consecutivas}}{4}$$

$$H m = \frac{19.900 + 19.642}{40} = \mathbf{0.989 \text{ cm.}}$$

k) Determinación del 50 % de consolidación para cada incremento de carga.

Con los datos *tiempo-deformación* se construye una gráfica. Si la parte inicial de la curva es parabólica, se puede obtener el 0 % de consolidación de acuerdo al siguiente procedimiento ; se toma un tiempo arbitrario B, ( $t_1$ ) que esté ubicado antes del 50 % de consolidación, enseguida se obtiene un punto C, ( $t_1 / 4$ ) y se determina la diferencia de ordenadas (a), de los dos puntos. Como los puntos B y C forman parte de una parábola el origen de ésta se encontrará a una distancia (a) arriba de C y ese será el 0 % de consolidación, por otra parte, el 100 % de consolidación A, queda definido como la intersección de la prolongación del tramo recto con la tangente a la parte curva del tramo de consolidación secundaria.

Una vez definido el 0 % y el 100 % de consolidación, se unen estos dos puntos por medio de una línea vertical, el punto medio de esta línea se transporta a la curva, encontrándose así el tiempo en el cual ocurre el 50 % de consolidación. (ver gráfica 2.)

l) Coeficiente de consolidación (c v.)

$$c v = \frac{(0.197) (H m^2)}{t_{50}} = \frac{0.197 \times 0.977}{192} = \mathbf{0.0001 \text{ cm}^2 / \text{seg.}}$$

( $t_{50}$  ver graficas 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8)

m)  $e_m$

Promedio de  $e$  en dos etapas consecutivas

$$e_m = \frac{e_1 + e_2}{2} = \frac{5.375 + 5.292}{2} = 5.333$$

n) Coeficiente de permeabilidad ( $k_m$ )

$$k_m = \frac{(C_v) (a_v)}{(1 + e_m) (1000)} = \frac{0.001 \times 0.661}{6.333 \times 1000} = 1.05 \times 10^{-7}$$

(ver tabla No. 10)



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA-AZCAPOTZALCO

AREA DE GEOTECNIA

CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

0.125				0.250				0.500				1.00				2.00				4.00				
Presion	Fecha	Le. Micr	Tempo	Presion	Fecha	Le. Micr	Tempo	Presion	Fecha	Le. Micr	Tempo	Presion	Fecha	Le. Micr	Tempo	Presion	Fecha	Le. Micr	Tempo	Presion	Fecha	Le. Micr	Tempo	
8.00	21/01/99	18.16	12:35	18.420	23/01/99	18.034	8:35	18.034	24/01/99	18.034	9:00	16.998	27/01/99	16.998	9:00	16.998	28/01/99	16.998	9:35	16.998	29/01/99	16.998	9:35	
10.00		18.650	seg	18.119	seg	18.012	seg	17.700	seg	17.695	seg	16.825	seg	16.825	seg	16.825	seg	16.825	seg	16.825	seg	16.825	seg	16.825
12.00		18.618	30	18.110	18	18.007	18	17.695	18	16.871	18	16.880	18	16.880	18	16.880	18	16.880	18	16.880	18	16.880	18	16.880
14.00		18.601	60	18.095	60	17.983	60	17.670	60	16.791	60	16.885	60	16.885	60	16.885	60	16.885	60	16.885	60	16.885	60	16.885
16.00		18.577	min.	18.084	min.	17.964	min.	17.631	min.	16.704	min.	16.579	min.	16.579	min.	16.579	min.	16.579	min.	16.579	min.	16.579	min.	16.579
18.00		18.551	4	18.080	4	17.940	4	17.589	4	16.579	4	16.579	4	16.579	4	16.579	4	16.579	4	16.579	4	16.579	4	16.579
20.00		18.533	8	18.073	8	17.917	8	17.530	8	16.391	8	16.391	8	16.391	8	16.391	8	16.391	8	16.391	8	16.391	8	16.391
22.00		18.501	15	18.069	15	17.897	15	17.469	15	16.136	15	16.136	15	16.136	15	16.136	15	16.136	15	16.136	15	16.136	15	16.136
24.00		18.473	30	18.067	30	17.878	30	17.405	30	15.770	30	15.770	30	15.770	30	15.770	30	15.770	30	15.770	30	15.770	30	15.770
26.00		18.449	60	18.064	60	17.860	60	17.345	60	15.079	60	15.079	60	15.079	60	15.079	60	15.079	60	15.079	60	15.079	60	15.079
28.00		18.438	120	18.061	120	17.846	120	17.284	120	14.582	120	14.582	120	14.582	120	14.582	120	14.582	120	14.582	120	14.582	120	14.582
30.00		18.425	275	18.058	275	17.830	275	17.269	275	14.085	275	14.085	275	14.085	275	14.085	275	14.085	275	14.085	275	14.085	275	14.085
32.00		18.423	480	18.052	480	17.812	480	17.146	480	13.529	480	13.529	480	13.529	480	13.529	480	13.529	480	13.529	480	13.529	480	13.529

D e s c a r g a	
Presion	Le. Mic.
8.00	7.384
10.00	7.491
12.00	7.644
14.00	7.808
16.00	7.982
18.00	8.163
20.00	8.355
22.00	8.555
24.00	8.765
26.00	8.985
28.00	9.215
30.00	9.460

Wm + Anillo	334.76 gr	Altura Anillo	1.99 cm
Anillo	5	415	gr
Wm + Capsula	89.91	Area	49.89 cm <sup>2</sup>
Wd + Capsula	53.8	Volumen	99.28 cm <sup>3</sup>
Caps No	18		
		coef	215.16. %
		coef	95.03. %

Aparato	
Ss	2.44
Ws	38 gr
Presion	cm
	Kg/cm <sup>2</sup>

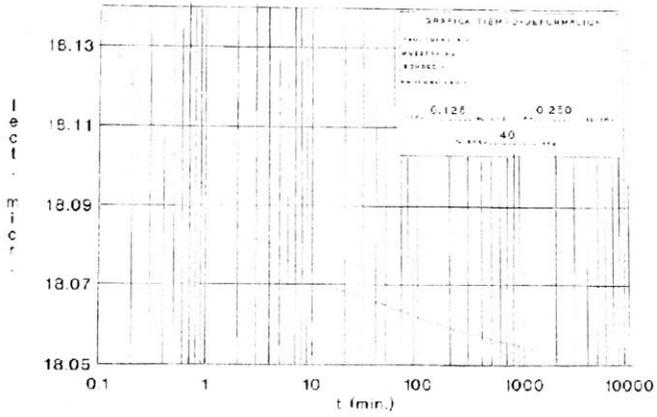
Observaciones: Saturacion Inicial \_\_\_\_\_  
 Prof. 19.10.1990 mts  
 Unidad Constitucion de Apalzingan, Av. Tepalcatlan s/n  
 Iztaguilpa, D.F.

Sondeo SM-1 \_\_\_\_\_  
 Muestra 30 \_\_\_\_\_

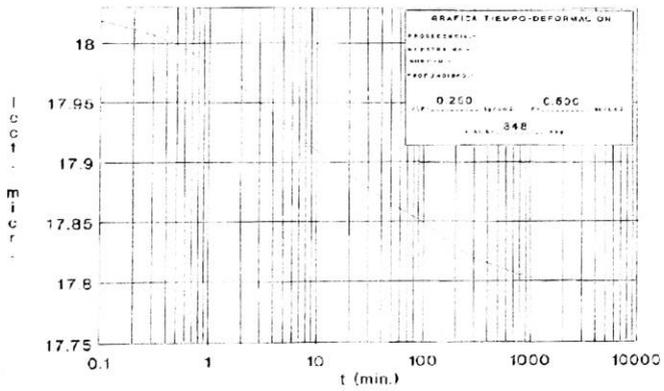
Presion \_\_\_\_\_  
 cm \_\_\_\_\_  
 Kg/cm<sup>2</sup> \_\_\_\_\_

Tabla No. 9

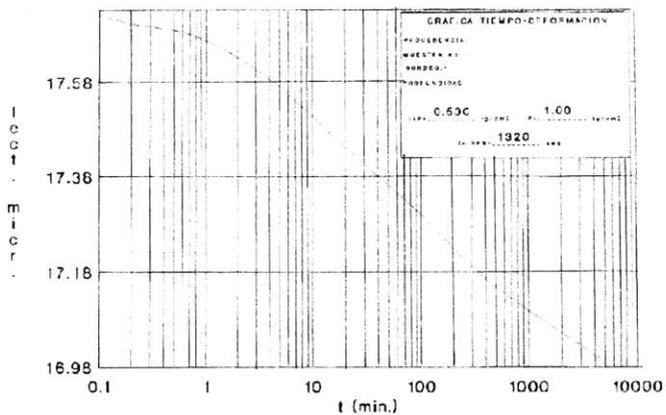




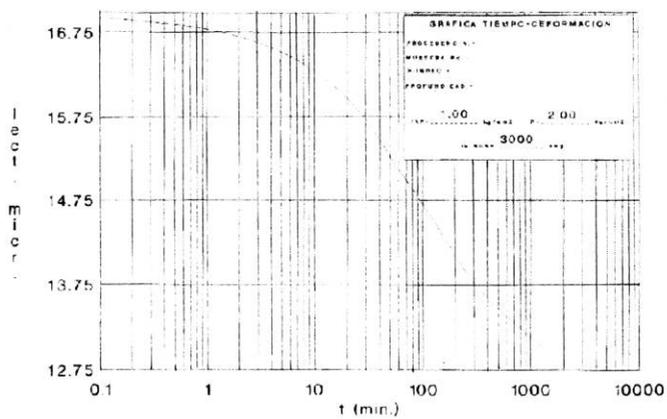
Gráfica No. 3



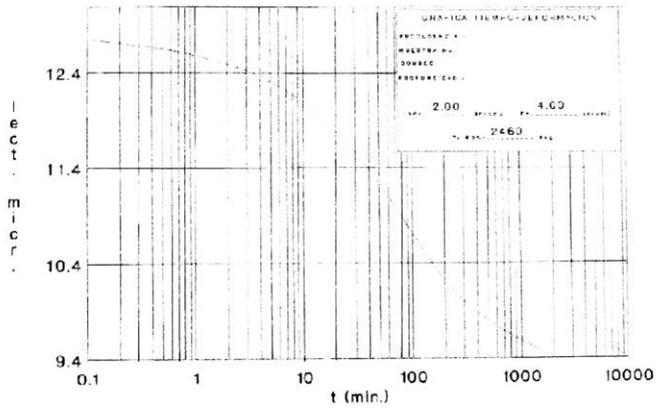
Gráfica No. 4



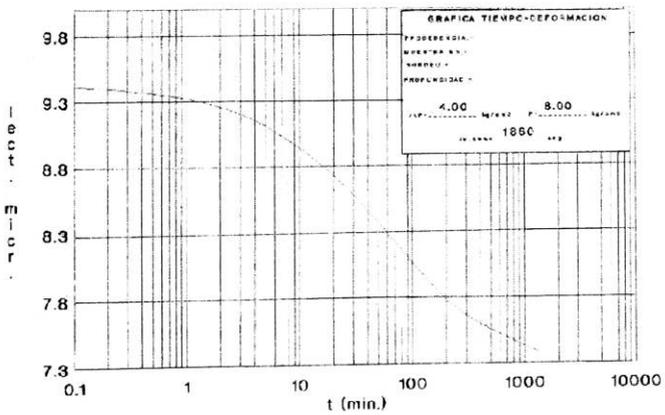
Gráfica No. 5



Gráfica No. 6



Gráfica No. 7

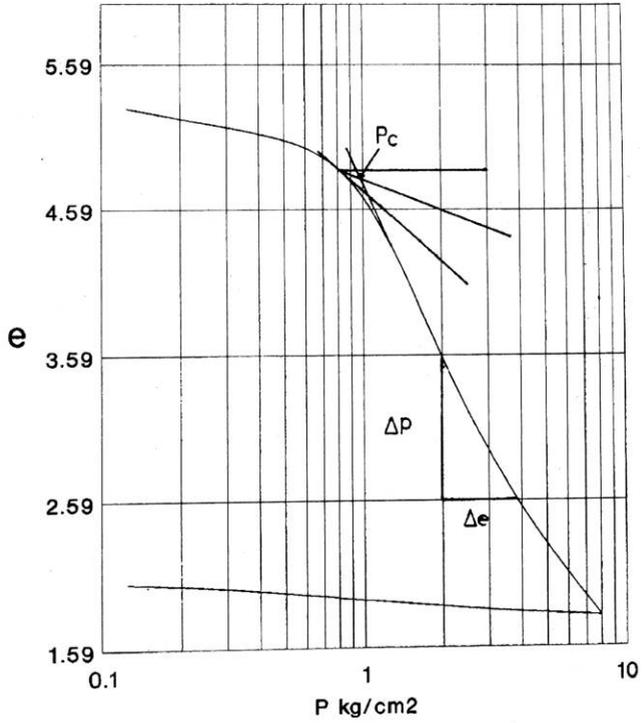


Gráfica No. 8



$a_v = 0.556 \text{ cm}^2/\text{kg}$      $m_v = 0.087 \text{ cm}^2/\text{kg}$

$P_c = 0.97 \text{ kg/cm}^2$



Gráfica No. 9



## PRÁCTICA 7

### PERMEABILIDAD

#### Objetivo

Con este ensayo se determina el coeficiente de Permeabilidad en un suelo, se utiliza también para conocer algunas propiedades mecánicas relacionadas con la infiltración y su comportamiento hidráulico.

#### Introducción

Se considera que un material es permeable cuando en su estructura contiene un porcentaje de huecos que se comunican en forma continua, en general es factible que todos los suelos y todas las rocas satisfagan esta condición. Sin embargo en la práctica siempre existirán grandes diferencias en el grado de permeabilidad de los diferentes materiales térreos.

A la propiedad de los suelos de permitir el flujo de agua a través de sus vacíos se le llama permeabilidad. Este fenómeno se mide por medio de un coeficiente denominado de permeabilidad (K) y se mide en cm/seg.

El coeficiente de permeabilidad puede determinarse en el laboratorio con la ayuda de ciertos aparatos que en Mecánica de Suelos se les llama *permeámetros*, y pueden ser de dos tipos, de carga variable o de carga constante. Se sabe que al ensayar suelos de baja permeabilidad con el permeámetro de carga constante se obtienen gastos tan pequeños del agua que fluye dentro del suelo que este tipo de prueba resulta poco práctica; entonces se recurre al permeámetro de carga variable.

Para fines de este trabajo se necesita de una prueba que verdaderamente se considere muy representativa, por tal motivo este ensayo se realizará con un permeámetro de carga variable. Equipo de laboratorio que se usa para suelos con alta permeabilidad tales como: arenas finas, limos y algunos suelos arcillosos.

En estos suelos, el agua fluye dentro de él bajo una *presión variable*, encontrándose que en promedio el *coeficiente de permeabilidad* varía entre  $10^{-4}$  y  $10^{-9}$  cm / seg, de acuerdo al equipo usado y las características del material.

## Equipo

- Permeámetro de Lucita con:
  - Tablero y piezómetro de vidrio con regla graduada
- Dispositivo para compactación
- Martillo de golpe
- Cronómetro
- Criba No. 4
- Charola

## Procedimiento

- Antes de iniciar la prueba, el suelo se criba por la malla No. 4; y se mide el diámetro, la altura así como el peso del molde.
- Una vez que se han encontrado las dimensiones del molde, este se coloca en el dispositivo de compactación.
- Existen dos formas de efectuar el ensayo.

*Primera.* El suelo se deposita en una charola en cantidad suficiente para llenar el molde del permeámetro, agregándole agua hasta que alcance una humedad tal que, cuando se apriete ligeramente con la mano, no se desmorone.

*Segunda.* Al suelo se le proporciona aproximadamente la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo Próctor.

*d)* El suelo ya preparado y humedecido con el agua agregada, se le determina su contenido de agua inicial. Posteriormente el material se introduce en el molde compactándolo en tres capas proporcionándole con el martillo 25 golpes por cada capa. (Si el equipo usado es el estándar según las normas, si este no es el caso, el número de golpes puede variar.)

Para realizar la prueba, es necesario que previamente se determine el número de golpes por capa y el agua a agregar. empleándose las siguientes fórmulas:

$$E = \frac{W H N n}{V}$$

**Donde:**

- E = Energía de compactación ( 7.27 Kg cm/cm<sup>3</sup>, usual en la prueba Proctor SCT)
- W = Peso del martillo en, Kg.
- H = Altura de caída, en cm.
- N = Número de golpes por capa
- n = Número de capas
- V = Volumen del molde, en cm.

Para calcular el agua a agregar se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{agua a agregar} = PW \times \left[ \frac{1 + \omega_o - \omega_m}{100 + \omega_m} \right]$$

**Donde:**

- PW = Peso del material a compactar, en g.
- $\omega_o$  = Humedad óptima, en %
- $\omega_m$  = Humedad natural del suelo, en %

**Ejemplo**

Energía de compactación:

- E = 7.27 kg cm / cm<sup>3</sup>
- W = 1.002 Kg.
- H = 17.2 cm.
- n = 3 capas
- V = 231.66 cm.<sup>3</sup>

Despejando el numero de golpes por capa ( N ) :

$$N = \frac{E V}{W H n} = \frac{(7.27)(231.66)}{(1.002)(17.2)(3)} = 33 \text{ golpes por capa}$$

Como ya se indicó el suelo se compacta dentro del molde en tres capas, dándole 33 golpes para compactar cada capa (dependiendo de las dimensiones del equipo a usar).

Con relación al procedimiento utilizado para encontrar el peso del suelo por compactar, este se describe a continuación:

$$\gamma_{mp} \times V$$

$\gamma_{mp}$  = Peso volumétrico máximo Próctor

V = Volumen del molde

$$\gamma_{mp} \times V = 1,150 \times 231,66 = 364 \text{ g.}$$

Para calcular el agua por agregar se emplea la ecuación antes descrita:

$$PW = 364 \text{ g.}$$

$$\omega = 24,10 \%$$

$$\omega_m = 2,5 \%$$

$$\text{agua a agregar} = 364 \times \frac{25,10 - 2,5}{102,5} = 77 \text{ cm.}^3$$

e) El molde junto con el suelo ya compactado dentro de el, se extraen del dispositivo de compactación, se pesan y se instalan dentro de la cámara del permeámetro de carga variable procediéndose a ajustar ligeramente los tornillos de la cámara. (fig. 32)

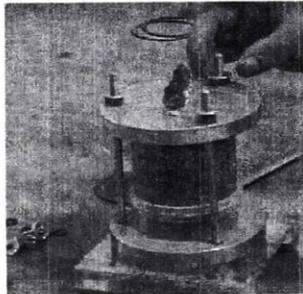


Figura 32

- f) Posteriormente se llena el depósito de agua instalado en la parte superior del tablero colocando también la cámara en la base, procediéndose a conectar la manguera a la conexión que se encuentra en la parte inferior de la cámara, posteriormente se abren las llaves No. 1, 2 y 3 (*fig. 33*) para que circule el agua por el suelo hasta que ésta empiece a brotar por la parte superior, cuando esto se logra significa que el aire contenido en el suelo se ha expulsado, por lo que pueden cerrarse las llaves No. 1 y No. 3 para iniciar la prueba.
- g) Para comenzar esta parte del ensayo, se vuelven a abrir las llaves No. 1 y No. 3 (*fig. 33*) hasta que el agua suba en el piezómetro y marque 100 cm de la regla graduada ( $h_1$ ) cerrando después dichas llaves.
- h) Enseguida, nuevamente se abre la llave No.3, arrancando el cronómetro; el agua contenida en el piezómetro empieza a descender y circular por el suelo, cuando el nivel del agua en el piezómetro pase por la marca de 50 cm de la regla ( $h_2$ ) se registrará el tiempo en segundos que el agua tarda en descender hasta la marca.
- i) El paso anterior se repite tres o cuatro veces, hasta obtener un valor del tiempo más o menos constante.
- j) Terminada la prueba, se desconecta la manguera y se desarma el permeámetro, el suelo compactado se deposita en una cápsula procurando no perder material, se obtiene su peso y se coloca en el horno para determinar su contenido de agua final.

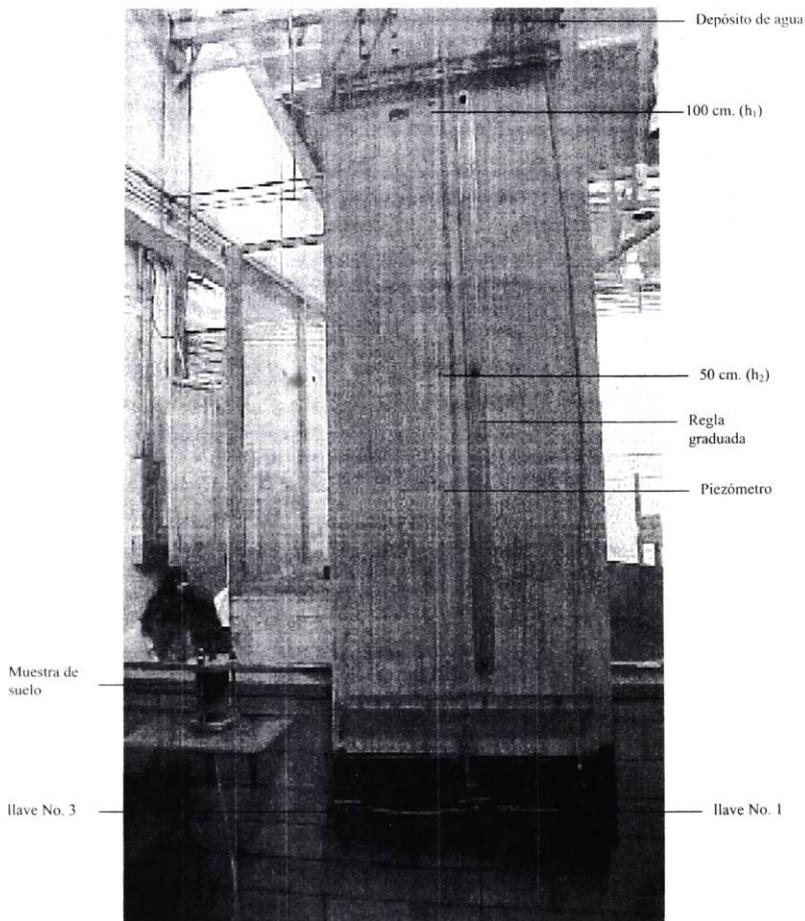


Figura 33

llave No. 2

## Cálculo

a) Se calcula el contenido de humedad, así como el peso volumétrico húmedo y seco inicial y final.

b) Coeficiente de permeabilidad

$$K = 2.3 \frac{a L}{A (t_1 - t_2)} \log_{10} \left( \frac{h_1}{h_2} \right)$$

Donde:

a = Área del piezómetro, en cm.<sup>2</sup>

L = Longitud del molde, en cm.

A = Área del molde, en cm.<sup>2</sup>

t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub> = tiempo, en seg.

**Ejemplo:**

$$K = 2.3 \times \frac{(0.855)(3.10)}{(2.03)(80)} \log_{10} \left( \frac{100}{50} \right) = 0.00114 \text{ cm/seg.}$$



## PRÁCTICAS 8 y 9

### RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE

#### Objetivo

a) Determinar por medio de una prueba confiable la *resistencia al esfuerzo cortante* de un suelo así como los parámetros que son necesarios para resolver problemas prácticos evaluando las cargas que es posible aplicar sin provocarle su falla o ruptura.

b) Definir adecuadamente los valores para trabajar con ( $\phi$  y C.)

$\phi$  = **Angulo de fricción interna del suelo.**

C = **Cohesión en T/ m<sup>2</sup>.**

c) Interpretar en forma apropiada el tipo de falla que sufrió el espécimen probado, conforme a sus características de resistencia y deformación.

#### Introducción

En Mecánica de Suelos se ha comprobado que las pruebas realizadas en el laboratorio a los diversos tipos de materiales aportan datos que son de gran utilidad al proyectista, sin embargo, el ensayo para conocer la resistencia al esfuerzo cortante en un espécimen cualquiera, proporciona una información que es primordial, ya que los parámetros obtenidos, se aplican en el cálculo de la capacidad de carga de cualquier suelo para el diseño de cimentaciones de edificios, puentes, presas, represas, terraplenes así como en el análisis de la estabilidad de taludes, presiones en túneles y empujes sobre estructuras de retención etc. Para cada caso y dependiendo de las condiciones naturales a las que se encuentre sujeto el suelo o se vaya a someter, existen pruebas, tanto de laboratorio como de campo, las cuales representan en parte las condiciones del suelo in-situ.

Algunas de estas pruebas que se utilizan para determinar la resistencia al esfuerzo cortante en el laboratorio son:

a) *Prueba de Corte directo*

b) *Compresión Simple no confinada (qu)*

c) *Compresión Triaxial Rápida*

d) *Compresión Triaxial consolidada rápida*

e) *Compresión Triaxial consolidada drenada o lenta*

Por otro lado, en el campo, la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo se puede determinar en forma preliminar empleando el siguiente equipo:

- a) Penetrómetro de bolsillo
- b) Torcómetro o veleta de mano

También se puede conocer la resistencia de un suelo por medio de una prueba de carga (que es la más representativa), pero que en la mayoría de los casos resulta antieconómica.

### **Equipo para preparar probetas o especímenes (fig. 34)**

- Torno de labrado
- Cortador de arco con alambre de acero
- Cabeceador

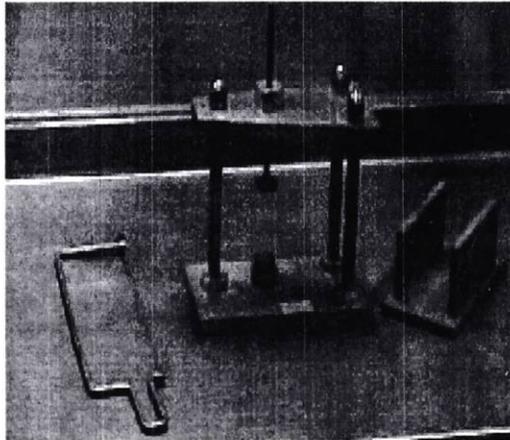


Figura 34

### Equipo para ensaye (fig. 35)

- Calibrador
- Membrana impermeable
- Cámara Triaxial
- Marco de carga con anillo de carga calibrado
- Ligas de hule
- Dispositivo para presión confinante
- Cápsulas de aluminio

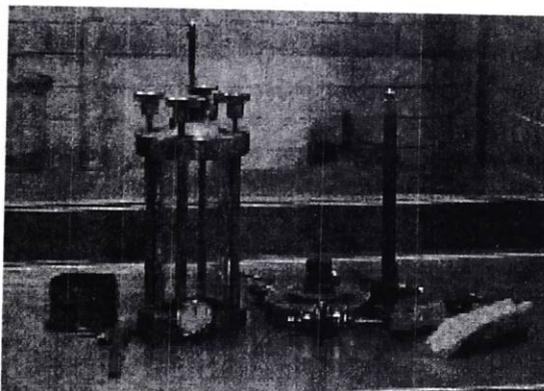


Figura 35

### Procedimiento

#### Preparación de probetas o especímenes.

a) De una muestra de suelo que se considera está inalterado, obtenida en forma cúbica, con tubo Shelby o por cualquier otro procedimiento, se corta un prisma de aproximadamente cinco centímetros de base y doce centímetros de altura, el cual se coloca y centra en el torno de labrado (fig. 36), donde se realizan los cortes necesarios por medio del cortador de arco, el cual desliza apoyándolo sobre las barras verticales del torno para que se vaya formando la probeta cilíndrica.

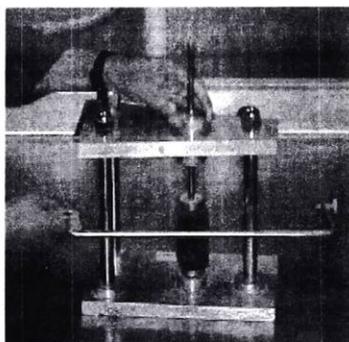


Figura 36

b) El torno se hace girar para continuar cortando, hasta lograr que la probeta adquiera la forma cilíndrica con un diámetro aproximado de 3.6 cm.

c) Adquirido el diámetro la probeta se desmonta del torno y se coloca en el cabeceador para darle la altura aproximada de 9.0 cm, obteniéndose entonces las dimensiones necesarias de 3.6 cm de diámetro y 9.0 cm de altura de acuerdo con las normas de Laboratorio. (fig. 37)



Figura 37

**Calibración del anillo de carga**

- a) Para realizar esta operación, el anillo con su micrómetro se instala en un marco de carga, colocándolo de tal manera que el marco toque ligeramente la parte superior del anillo.
- b) Posteriormente la aguja del micrómetro se ajusta en cero, se coloca una carga conocida en el porta pesas y se hace la primer lectura en el micrómetro. (fig. 38)
- c) Se sigue con los incrementos de carga, efectuándose las lecturas en el micrómetro para conocer la deformación por cada incremento efectuado (ver tabla No. 11)
- d) Los datos obtenidos se grafican, colocándose en la coordenada " X " las cargas aplicadas y en la coordenada " Y " las lecturas del micrómetro (deformación), obteniéndose una recta a la cual se le encuentra su pendiente (ver gráfica No. 10)

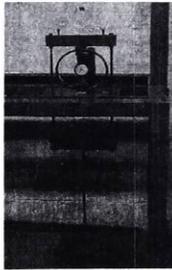


Figura 38

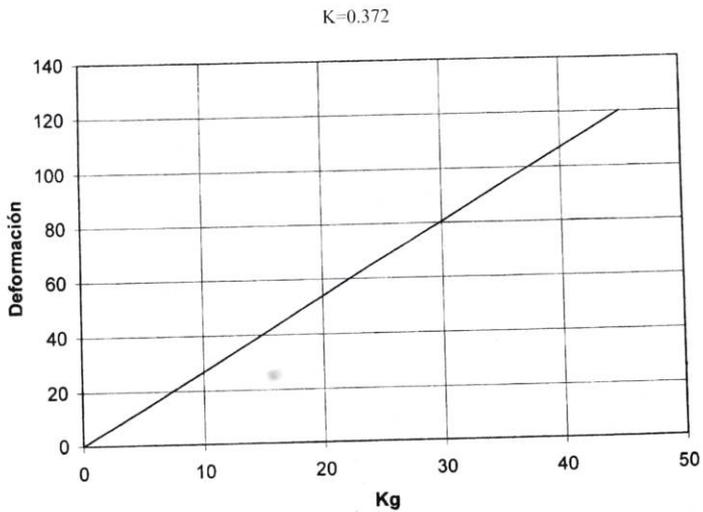
- e) Para obtener una constante (K) del anillo, se aplica la formula:

$$K = \frac{\text{carga aplicada}}{\text{lecturas del micrómetro (deformación)}}$$

Realizando varias lecturas se obtiene un promedio de K que servirá para encontrar la carga aplicada en kg.

Carga (kg)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Deformación	0	13.4	27	40.4	53.9	67.4	80.5	94	107	120.2

Tabla No. 11



Gráfica No. 10

### Procedimiento de ensaye de las probetas

#### Compresión simple (qu)

a) A la probeta de suelo ya preparada se le miden sus diámetros, altura y peso, anotando los datos en el registro. (fig. 38a)

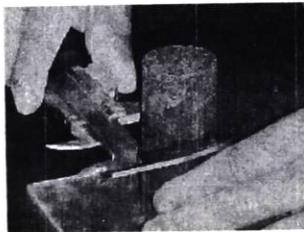


Figura 38a

b) Después la probeta se lleva al plato del marco de carga, colocándola al centro, el anillo de carga ya deberá estar instalado en el marco. (fig. 39)

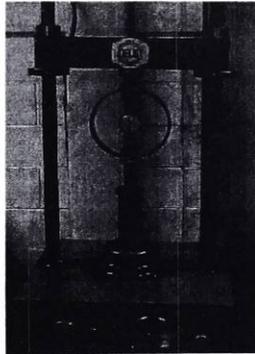


Figura 39

c) Se acciona el maneral del marco para que la probeta que se encuentra en el plato empiece a elevarse y pueda hacer contacto con el anillo transmisor de la carga, hasta que la aguja del micrómetro del anillo se mueva, esto indica que ya se está aplicando carga a la probeta dejándose de accionar el maneral.

d) Posteriormente se marca con la perilla la velocidad a que se realizará el ensaye, que será de 1 mm / minuto.

e) Se ajusta la aguja del micrómetro del anillo de carga en cero y se ponen en marcha al mismo tiempo la máquina y el cronómetro, tomando lecturas en el anillo de carga a razón de cada 30 segundos con la velocidad indicada.

f) Se realizan las lecturas en el anillo de carga hasta que el espécimen falle, esto es, cuando la aguja marca un decremento o se mantiene en una sola lectura por dos veces el incremento de carga. (fig. 40)

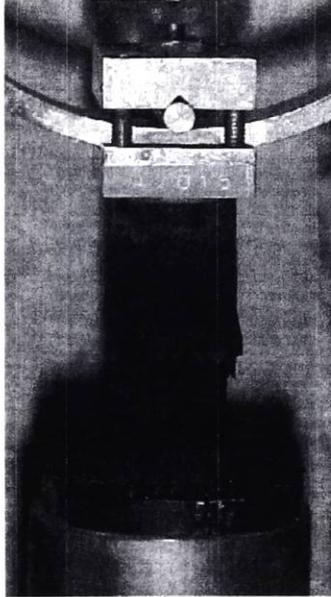


Figura 40

g) Se efectúa la descarga y se procede a retirar el espécimen, depositándolo en una cápsula, se pesa y se coloca en el horno para la determinación de su contenido de humedad.

### **Cálculo**

a) Carga en Kg.

$$K \times \text{Lectura del Anillo} = 0.375 \times 3.8 = \mathbf{1.425 \text{ Kg.}}$$

b) Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )

$$\epsilon = \frac{10 \times \text{Tiempo en decimales}}{hm} = \frac{10 \times 0.5}{8.93} = 0.56 \%$$

Donde:

hm = altura de la probeta

c) Área corregida

$$A_c = \frac{\text{Área inicial}}{\epsilon} = \frac{7.81}{0.56} = 7.85 \text{ cm}^2$$

$$\left[ 1 - \left( \frac{\epsilon}{100} \right) \right] \quad \left[ 1 - \left( \frac{\epsilon}{100} \right) \right]$$

Donde:

Área inicial = área inicial de la probeta.

d) Esfuerzo ( $\sigma$ )

$$\sigma = \frac{\text{Carga}}{\text{Área corregida}} = \frac{1.425}{7.85} = 0.181 \text{ Kg / cm}^2$$

e) Se calculan la humedad, volumen, peso volumétrico húmedo ( $\gamma_m$ ), peso volumétrico seco ( $\gamma_d$ ) y una vez que se tiene el valor del peso específico ( $S_s$ ) se obtiene también la Relación de Vacíos ( $e$ ) y el Grado de Saturación ( $G_w$ ).

$$e = \frac{S_s}{\gamma_d} - 1 = \frac{2.44}{5.170} - 1 = 5.170$$

$$G_w = \frac{S_s \times \omega \%}{e} = \frac{2.44 \times 208.74}{0.395} = 98.49 \%$$

f) Se grafican los esfuerzos ( $\sigma$ ) contra la deformación unitaria ( $\epsilon$ ) (ver tabla No.12)

De la tabla 12 se tiene que:

- $W_{ma}$  = peso de la probeta antes de la prueba.
- $W_{md} + T$  = peso de la probeta después de la prueba + tara.
- $W_d + T$  = peso seco de la probeta + tara.
- $T_{no.}$  = peso y número de la tara.
- $d_m$  = promedio de los diámetros de la probeta.
- $h$  = altura de la probeta.
- $\gamma_m$  = peso volumétrico húmedo.
- $\gamma_d$  = peso volumétrico seco.



Casa abierta al tiempo

AREA DE GEOTECNIA

COMPRESION SIMPLE

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA - AZCAPOTZALCO

Procedencia:	Unidad Habitacional	Sondeo:	SM-1	Prof:	19.10-19.90	mts				
Constitución de Apatzingán:	Iztapalapa	Muestra:	30							
Tiempo	Loc. Micr.	Carga Kg.	Def. Unitaria	Area Correg.	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm <sup>2</sup>	k anillo	0.375	d1	3.14	3.15
0	0	0	0	7.81	0	Wma	85.13 gr	d2	3.16	3.16
0.50	3.8	1.425	0.56	7.8536	0.181			d3	3.17	3.14
1.00	7.3	2.738	1.12	7.8981	0.347	Wmd+T	114.86 gr	dm	3.15	cm
1.50	10.3	3.863	1.68	7.943	0.486	Wd+T	57.81 gr	h	8.93	cm
2.00	12.2	4.575	2.24	7.9885	0.573	Tno.	30.48 gr	Vm	69.74	cm <sup>3</sup>
2.50	12.5	4.688	2.80	8.0345	0.583	$\omega$	208.74 %	$\gamma_d$	0.3954	ton/m <sup>3</sup>
3.00	11.4	4.275	3.36	8.0811	0.529	$\gamma_m$	1.221	e	5.17	
						Sc	2.44	Gw%	98.49	

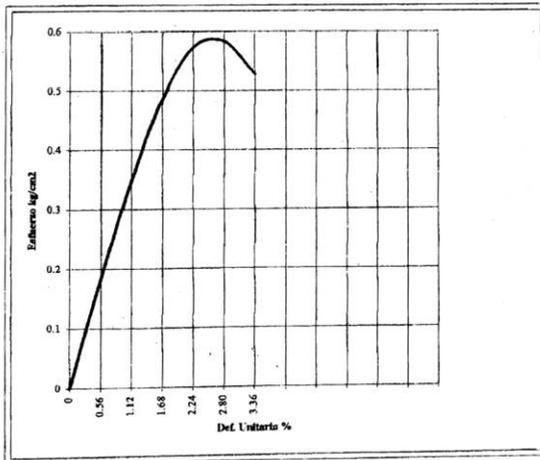


Tabla No. 12

## COMPRESIÓN TRIAXIAL RAPIDA (UU)

Para este ensayo se requieren tres probetas o especímenes que servirán para aplicarles diferentes presiones confinantes. ( $\sigma_3$ )

a) A las probetas ya preparadas se les miden sus diámetros, altura y peso, numerándolas para darle a cada una la presión confinante requerida.

b) Se coloca la primer probeta en el cabezal de la cámara, protegiéndola previamente de el agua que inundará la cámara mediante una membrana impermeable. (fig. 41)



Figura 41

c) El espécimen junto con su membrana impermeable se fijan a la base de la cámara, sujetándolos mediante una liga, de tal manera que al aplicar la carga, la probeta permanezca fija.

d) Una vez que el espécimen este instalado y sujeto en el cabezal, se procede a colocar la tapa de la cámara, asentando el vástago en el cabezal y ajustando los tornillos. (fig. 42)

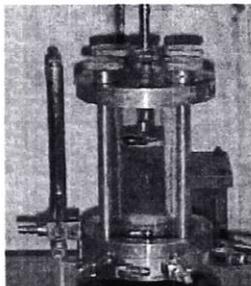


Figura 42

e) Posteriormente la cámara triaxial, completa con su espécimen instalado, se lleva al marco de carga, conectando la manguera que la comunica con el cilindro del dispositivo para poder disponer del agua necesaria que proporcionará la presión confinante deseada, posteriormente se abren las llaves del manómetro, y el agua inunda la cámara dándole presión confinante al espécimen de acuerdo a la prueba, para la primer muestra será de:  $\sigma_3 = 0.500$  , para la segunda  $\sigma_3 = 1.000$  y para la tercera a  $\sigma_3 = 2.000 \text{ Kg/cm}^2$  (fig. 43)

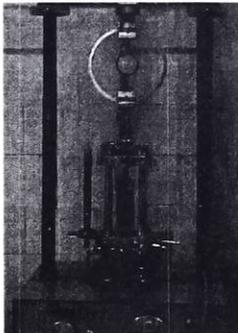


Figura 43

f) Se procede a aplicar la carga axial ( $\sigma_1$ ) a una velocidad de 1mm/min realizando lecturas en el anillo de carga cada 30 segundos, hasta que el espécimen falle (figs.-44 y 45). (Aplicando el mismo criterio que para el ensaye de compresión Simple, pasos e al g.)

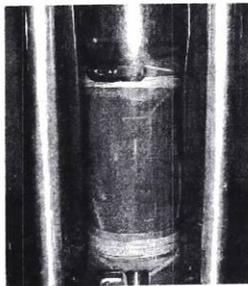


Figura 44



Figura 45

### Cálculo

- a) El cálculo de la carga, la deformación unitaria, el área corregida y el esfuerzo se realiza de igual manera que la prueba de Compresión Simple, calculando también, la humedad, el volumen, y el peso volumétrico húmedo y seco así como la relación de vacíos y el grado de saturación de los tres especímenes. (ver tablas No.13 y 14)
- b) Se hacen las graficas esfuerzo - deformación unitaria de cada uno de los tres ensayos. (ver tabla No. 15)
- c) Se trazan los círculos de Mohr, eligiendo una escala de esfuerzos en el eje horizontal, sobre dicho eje se lleva el valor de la presión lateral ( $\sigma_3$ ) también se marca el esfuerzo principal mayor y de ruptura máximo ( $\sigma_1$ ), la diferencia será el diámetro del círculo; a partir de  $\sigma_3$  entonces con centro en el punto medio del segmento se traza el semicírculo correspondiente de cada ensayo.
- d) Trazados los semicírculos, se dibuja una envolvente que se ajuste a ellos (*línea de falla*), la línea representa la variación del esfuerzo cortante en función de las presiones normales aplicadas.
- e) El ángulo de fricción interna ( $\phi$ ), es el que forman la envolvente o línea de falla con la horizontal; el valor de la cohesión (C), es la ordenada al origen de la envolvente, con la misma escala con que se trazaron los círculos. (Ver tabla No. 15)







Casa abierta al tiempo

AREA DE GEOTECNIA

COMPRESION TRIAXIAL

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA - AZCAPOTZALCO

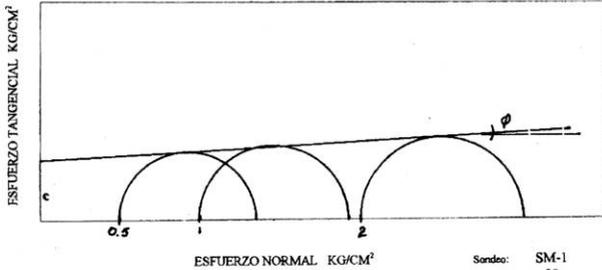
Prueba	$\sigma_3$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm <sup>2</sup>
1	0.500	0.863
2	1.00	0.917
3	2.00	1.035

$\phi = 3^\circ$

C = 3.8 ton/m<sup>2</sup>

Tipo de Prueba:

Triaxial Rapida



Sondeo: SM-1  
Muestra: 30

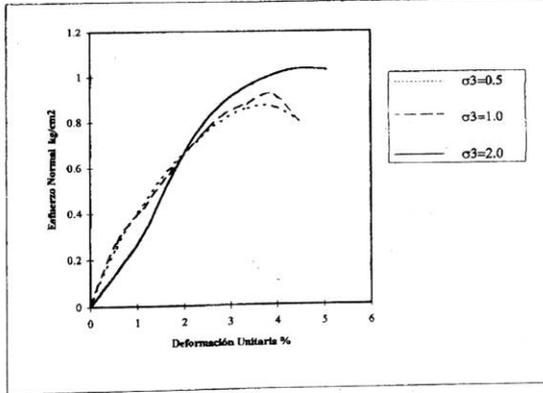


Tabla No. 15



## BIBLIOGRAFÍA

- *Comportamiento de suelos (cuaderno de trabajo)*,  
Arias Rivero Carlos; Meza Reyna Jorge,  
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., México
- *Instructivo de Laboratorio de Geotécnia (primera parte)*,  
Norman Alegría Celaya; Francisco Zamora Millán,  
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., México
- *Mecánica de Suelos (Instructivo para ensaye de suelos)*,  
Secretaría de Recursos Hidráulicos,  
Tomo I, México, 1995
- *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*,  
Carlos Crespo Villalaz,  
Primera Edición, México, 1992
- *Mecánica de Suelos (Fundamentos de la Mecánica de Suelos)*,  
Eulalio Juárez Badillo; Alfonso Rico Rodríguez,  
Tercera Edición, México, 1999
- *Mecánica de Suelos*,  
Robert F. Craig,  
Primera Edición, México, 1990
- *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*,  
Joseph E. Bowles,  
Segunda Edición, México, 1998
- *Problemas resueltos de Mecánica de Suelos y Cimentaciones*,  
Carlos Crespo Villalaz,  
Primera Edición, México, 1992
- *Apuntes de Geotécnia I*,  
René Domínguez Peña,  
U.A.M. - Azcapotzalco, México, 1997
- *Apuntes de Laboratorio de Geotécnia*,  
Salvador Hernández Melgar,  
U.A.M. - Azcapotzalco, México, 1998



Manual  
de prácticas de laboratorio de geotecnia  
Se terminó de imprimir en La edición estuvo a cargo  
el mes de abril del año 2006 de la Sección de Producción  
en los talleres de la Sección y Distribución Editoriales  
de Impresión y Reproducción de la Se imprimieron  
Universidad Autónoma Metropolitana 100 ejemplares más sobrantes  
Unidad Acazotzalco para reposición.



UAM	2892796
TA710.5	
M2.56	Manual de prácticas de la

MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO GEOTECNIA  
DOMINGUEZ

35828



\$ 12.00

\* 01-CB1

ISBN: 970-654-931-5



978-97065-49310

UNIVERSIDAD  
AUTONOMA  
METROPOLITANA  
Casa abierta al tiempo  
**Azcapotzalco**



División de Ciencias Básicas e Ingeniería  
Departamento de Materiales  
Coordinación de Extensión Universitaria  
Sección de Producción y Distribución Editoriales

